

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

**Návrh optimalizace výroby tepla pro Průmyslový
areál s využitím odpadního tepla**

**Project of intensification heat production for
industry plant with utilization of waste heat**

Student:

Bc. Tomáš Dubrava

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Michal Židek, Ph.D.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Dubrava**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení
Téma: **Návrh optimalizace výroby tepla pro průmyslový areál s využitím
odpadního tepla
Project of Intesification Heat Production for Industry Plant with
Utilization of Waste Heat**

Zásady pro vypracování:

Vypracujte návrh optimalizace zásobování teplem výrobního areálu včetně využití potenciálu odpadního tepla vznikajícího z výrobních procesů. Jedná se zejména o využití odpadního tepla z kompresoru, využití odpadního tepla z elektrických tavicích pecí a využití odpadního tepla z galvanických van.

Obsah:

1. Základní popis možností využití odpadního tepla. Teoretický rozbor, možnosti využití.
2. Srovnání centralizované a decentralizované výroby tepla.
3. Proved'te bilanční energetické výpočty pro stávající stav.
4. Stanovte ztráty v rozvodech.
5. Navrhnete možnosti řešení decentralizace areálu od stávající centrální kotelny.
6. Stanovte investiční a provozní náklady.
7. Určete celkový potenciál úspor energie.
8. Ekonomické vyhodnocení.
9. Výkres napojení využití odpadního tepla na stávající systém.
10. Technologické schéma navrženého řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

VALENTA, V. a kol. Topenářská příručka 3. Agentura ČSTZ, sro., Praha, 2007. ISBN 978-80-86028-13-2.

DVORSKÝ, E., HEJTMÁNKOVÁ, P. Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla. BEN – technická literatura, Praha, 2005. ISBN 80-7300-118-7.


MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU: Kombinovaná výroba elektřiny a tepla v roce 2008, 2010.
BROŽ, K. Zásobování teplem. 2. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. 217 s. ISBN 80-01-01587-4.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michal Židek, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015


prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě..... 2015

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě..... 2015

.....
Bc. Dubrava Tomáš

Chci poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Michalu Židkovi, Ph.D. za cenné rady a čas, který mi věnoval při zpracovávání diplomové práce.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Dubrava Tomáš.

Návrh optimalizace výroby tepla pro průmyslový areál s využitím odpadního tepla. Vedoucí práce Ing. Michal Židek, Ph.D. Diplomová práce. Ostrava: katedra energetiky, Fakulta strojní VŠB – TU Ostrava, 2015. 43 s.

Diplomová práce je zaměřena na optimalizaci výroby tepla v průmyslovém podniku. V rešerši jsou popsány možnosti využití odpadního tepla a dále pak srovnání decentralizované a centralizované výroby tepla. V praktické části byla stanovena stávající energetická bilance, ztráty v rozvodech, byly navrženy varianty řešení decentralizace podniku, kde byly stanoveny investiční a provozní náklady. Závěrem práce je ekonomické vyhodnocení opatření.

ANNOTATION OF THESIS WORK

Dubrava Tomáš.

Project of intensification heat production for industry plant with utilization of waste heat. Leader of work Ing. Michal Židek, Ph.D. Thesis work. Ostrava: Department of energy, Faculty of civil engineering VŠB – TU Ostrava, 2013. 43 s.

The thesis is focused on the optimization of heat production in industrial company. In the literature review are described possibilities of utilization of waste heat and then is compared centralized and decentralized heat production. In the practical part was determined the current energy balance, distribution losses, were designed variants of solving the decentralization of the company where were established investment and operating costs. In conclusion work is the economic evaluation of the measures.

Obsah:

1. Úvod.....	11
2. Možnosti využití odpadního tepla.....	12
2.1. Využití odpadního tepla pevných látek.....	12
2.1.1. Suché hašení koksu	12
2.1.2. Využití odpadního tepla vysokopecní strusky	13
2.1.3. Využití odpadního tepla výrobků	13
2.2. Využití odpadního tepla plyných látek.....	15
2.2.1. Rekuperace tepla	15
2.2.2. Rekuperátory	16
2.2.3. Výměna tepla v rekuperátoru	17
2.2.4. Účinnost rekuperace.....	18
2.2.5. Provedení rekuperátorů.....	19
2.2.6. Regenerátory.....	20
2.3. Využití odpadního tepla k vytápění, ohřevu TVU a technologické účely 22	
2.3.1. Výměníky tepla	22
3. Centralizovaná a decentralizovaná výroba tepla	24
3.1. Centralizovaná výroba tepla.....	24
3.2. Centralizovaná příprava teplé vody.....	25
3.3. Decentralizované zásobování teplem	26
3.4. Výhody a nevýhody CZT a DZT	26
4. Praktická část - zadání	27
4.1. Popis energetických zdrojů	27
4.2. Spotřebiče zemního plynu.....	31
4.3. Spotřebiče tepelné energie	32
5. Energetická bilance současného stavu	34
5.1. Spotřeba zemního plynu	34
5.2. Teplo	35
5.3. Elektrická energie	35
5.4. Základní soupis energetických vstupů a výstupů	36
6. Rozvody energií	37
6.1. Rozvod tepla a TV	37
6.2. Ztráty tepla v rozvodném potrubí	38
7. Řešení decentralizace a využití odpadního tepla.....	41

7.1.	Decentralizace areálu	41
7.1.1.	Popis opatření, ztráty	41
7.1.2.	Investiční a provozní náklady	43
7.1.3.	Potenciál úspor	43
7.1.4.	Výhody a nevýhody decentralizace	44
7.2.	Instalace nového kotle s kondenzačním výměníkem	44
7.2.1.	Popis opatření, množství vyrobeného tepla	44
7.2.2.	Investiční a provozní náklady	45
7.2.3.	Potenciál úspora	46
7.2.4.	Výhody a nevýhody instalace kotle	46
7.3.	Využití odpadního tepla z tavicích pecí ve slévárně	47
7.3.1.	Popis opatření	47
7.3.2.	Investiční a provozní náklady	48
7.3.3.	Potenciál úspor	49
7.3.4.	Výhody a nevýhody využití odpadního tepla	50
7.4.	Využití odpadního tepla kompresorů pro přípravu TV	50
7.4.1.	Popis opatření	50
7.4.2.	Investiční a provozní náklady	51
7.4.3.	Potenciál úspor	51
7.4.4.	Výhody a nevýhody využití odpadního tepla kompresorů	51
8.	Ekonomické vyhodnocení opatření	52
8.1.	Základní vstupní údaje	52
8.2.	Základní kritéria při hodnocení projektů	52
8.3.	Celkové ekonomické vyhodnocení opatření	54
9.	Závěr	55
10.	Literatura	56
11.	Rejstřík tabulek	57
12.	Rejstřík obrázků	58

Zkratky:

CAMP	model oceňování kapitálových aktiv
CZT	centrální zdroj tepla
DEZ	druhotný energetický zdroj
DZT	decentralizovaný zdroj tepla
EE	elektrická energie
KGJ	kogenerační jednotka
PEZ	primární energetický zdroj
PS	předávací stanice
SCZT	soustava centrálního zdroje tepla
TV	teplá voda
ZP	zemní plyn

Seznam použitého značení:

CF	peněžní tok	[Kč]
C _{sp}	měrná tepelná kapacita spalin	[J/kg*K]
d _i	průměr potrubí	[m]
DN	prostá doba návratnosti	[rok]
INV	investiční náklady	[Kč]
IRR	vnitřní výnosové procento	[%]
K	součinitel prostupu tepla	[-]
L	délka potrubí	[m]
NPV	čistá současná hodnota	[Kč]
Pr	Prandtlův kritérium	[-]
q ₁	tepelná ztráta 1m potrubí	[W/m]
Q _u	využité teplo	[W]
Q _z	tepelná ztráta povrchem do okolí	[W]
R	součinitel využití výhřevné náplně	[-]
R	diskontní sazba	[%]
Re	Reynoldsovo číslo	[-]
S	velikost teplosměnné plochy	[m ²]
t ₁	teplota uvnitř potrubí	[°C]
t ₂	teplota okolí	[°C]
t _{sp}	teplota spalin	[°C]
t _{vzd}	teplota vzduchu	[°C]
V _{sp}	objem spalin	[m ³ N]
V _{vzd}	objem vzduchu	[m ³ N]
α_1	součinitel přestupu tepla v potrubí	[W/m ² *K]
α_2	součinitel přestupu tepla do okolí	[W/m ² *K]
α_s	součinitel přestupu tepla na straně spalin	[W/m ² *K]
α_v	součinitel přestupu tepla na straně vzduchu	[W/m ² *K]
χ_s	poměr průřezu spalinové části k celkovému průřezu	[-]
χ_v	poměr průřezu vzduchové části o celkovému průřezu	[-]
Δt_s	střední logaritmický teplotní spád	[°C]
η_r	podíl využitelného tepla	[-]
η_z	účinnost rekuperátoru	[-]

1. Úvod

Odpadní teplo vzniká v řadě technologických procesů v nejrůznějších průmyslových odvětvích jako je metalurgie, hutnictví, keramický průmysl, sklářství, slévárnictví, potravinářství a jiné. Mluvíme o teple zmařeném, které se obvykle nevyužívá a odvádí se tak bez užitku do okolí.

I když je odpadní teplo pro původní technologii nevhodné, je možné ho nadále využít v jiných zařízeních. Nabízí se tedy možnosti využít tuto energetickou ztrátu vhodnou technologií a transformovat ji na energii, kterou lze dále využít. Takto přeměněná energie může být využita v mnoha aplikacích jako je ohřev užitkové vody, vytápění, předehřev spalovacího vzduchu, výroba elektrické energie, čímž se zefektivňuje technologický proces. Mluvíme-li tedy o jakémkoliv způsobu využití odpadního tepla, všechny tyto metody vedou k úsporám energie.

Nejvýznamnější způsob pro využití ve vlastním technologickém procesu je zavedení rekuperativních případně regenerativních výměníků tepla pro předehřev spalovacích složek, tj. spalovacího vzduchu nebo plynu. Tento způsob využívání entalpie spalin umožňuje snížení spotřeby tepla u tepelných zařízení až o 50 %, ale i zavedení nových výrobních postupů. Využití entalpie spalin ve výměnících tepla se dlouhodobě používá hlavně pro předehřátí spalovacích složek u ohřívacích pecí, koksárenských pecí a dále u kuploven.

Další možnosti přímého využití odpadního tepla spalin, pro vlastní technologický proces, pak nabízí značné využití entalpie spalin jako druhotného energetického zdroje. V tomto případě se entalpie spalin mění v utilizačních zařízeních na jinou formu energie (horká voda, pára, elektrická energie), která se využívá v jiných technologických zařízeních nebo pochodu.

Úkolem této práce je srovnání výhod centralizované a decentralizované výroby tepla v průmyslovém podniku, navržení variant pro využití odpadního tepla z kompresorů, určení potenciálu energetických úspor a ekonomické vyhodnocení navržených variant.

2. Možnosti využití odpadního tepla

Druhotný (sekundární) zdroj vzniká jako vedlejší produkt technologie výroby nebo jiné lidské činnosti. Na rozdíl od primárních energetických zdrojů (PEZ), které se získávají z přírody, určuje následné využití DEZ (byť i částečné využití) úroveň technologie výroby, včetně zvýšení její celkové efektivity. Je proto účelné tyto energetické zdroje racionálně využívat.

Při využívání odpadního tepla platí zásada, pokud je to možné, vrátit odpadní teplo zpět do technologického procesu, což nazýváme rekuperací tepla. Tímto způsobem je možné snížit spotřebu primárních energetických zdrojů a to je důležité z těchto dvou hledisek :

- využívání tohoto tepla je časově vázané přímo na technologický proces
- snížení nákladů na primární palivo, to vede ke zvýšení ekonomické efektivity

2.1. Využití odpadního tepla pevných látek

Nejvýznamnější DEZ tohoto typu vznikají především v hutním průmyslu. Jedná se zejména o citelné teplo vysokopecní strusky (teplota 1 300 až 1 400°C), ocelářské strusky (teplota 1 500 až 1 550°C), surového železa a oceli (teplota až 1 150°C) a také citelné teplo žhavého koksu (teplota až 1 000°C). Toto citelné teplo lze použít především zpětně ve výrobním procesu (např. výroba nízkotlaké páry pro předehřev a vlhčení vysokopecních větrů).

2.1.1. Suché hašení koksu

Typickým příkladem využití odpadního tepla pevných látek je zařízení na suché hašení koksu v koksovnách.

Koks se vytlačuje ven z koksárenských pecí o teplotě 1 000 - 1 100 °C. V jedné tuně koksu pak odchází 1,7 - 1,9 GJ odpadního tepla, to představuje prakticky polovinu tepla, které je spotřebováno během karbonizace v koksárenských bateriích.

Položka v bilanci	Z tepla na karbonizaci %
Citelné teplo žhavého koksu	45 - 30
Citelné teplo koksárenského plynu	25 - 30
Citelné teplo spalín za regenerátory	13 - 18
ztráty tepla do okolí	7 - 10

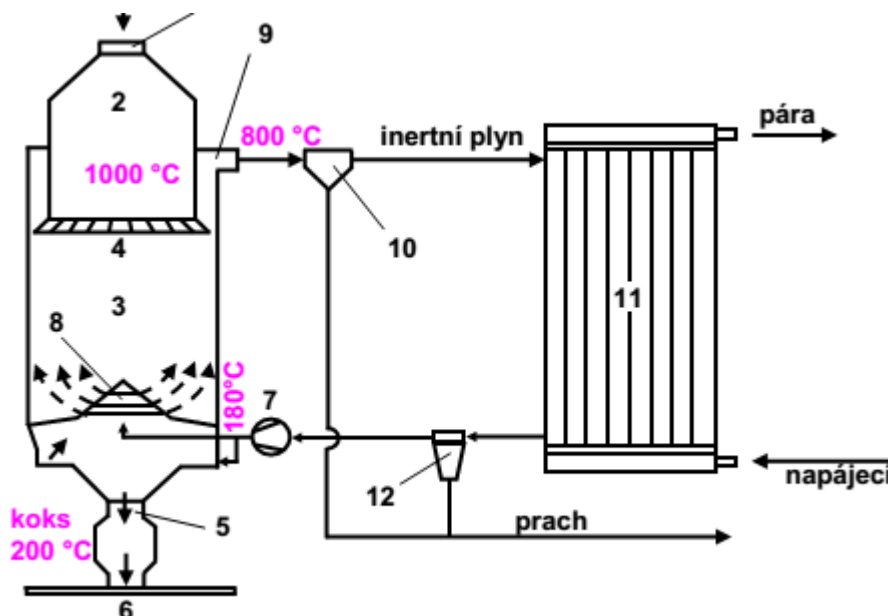
Tabulka 1 - 2.1. orientační bilance technologického procesu koksovy [2]

Žhavý koks je nutné hned po vytlačení z baterií zchladit pod zápalnou teplotu, aby se snížil propal. Obvykle se koks zaveze do sprchového chladiče,

kde je vodou zchlazen. Jeho teplo je tedy předáno chladicí vodě, které se velké množství odpaří a odpadní teplo tak nevyužité odchází do atmosféry. Je to jednoduchý, ale ne hospodárný způsob při kterém dochází:

- k velké tepelné ztrátě
- k velké spotřebě chladicí vody
- ke znečišťování ovzduší drobnými částicemi koksu unášenými parou

V dnešních koksovnách se proto aplikuje suché hašení koksu.



Obrázek 1 - 2.2. schéma suchého hašení koksu [3]

Z hasícího vozu se vysype horký koks, který padá do zásobníku. Přes vrstvu horkého koksu se fouká inertní plyn, který dále prochází přes kotol na odpadní teplo. Ten se skládá z přehříváku páry, výparníku a sběrače páry. Tato metoda hašení koksu je nyní ve světě velmi rozšířená, u nás se však zatím nepoužívá.

2.1.2. Využití odpadního tepla vysokopecní strusky

Značná část hutnických procesů je doprovázena vznikem roztavené strusky, se kterou odchází velké množství odpadního tepla a to 30 - 40 % celkového tepla potřebného pro technologické procesy. Platí to zejména u odpadního tepla strusky z vysokých pecí, kdy se teplota pohybuje mezi 1 300 - 1 400 °C a u ocelářských pecí 1 500 - 1 550 °C.

2.1.3. Využití odpadního tepla výrobků

Jedná se například o vypalovací pece šamotových tvárnic. Tyto pece tvořené pevnou nístějí, do nichž se ukládá šamotový materiál, jsou vytápěné koksárenskými plyny podle teplotního diagramu na maximální teploty 1 600 -

1 800 °C při vysokém výpalu. Po výpalu přichází postupné chlazení materiálu, které probíhá opět podle teplotního diagramu a pomocí chladicím vzduchem z ventilátoru. Na výstupu z pecí je instalován parní kotel na odpadní teplo, který využívá jak odpadní teplo spalin vystupujících z pecí, tak teplo samotných vypálených výrobků, které přechází do chladicího vzduchu, kde se míchá se spalinami.

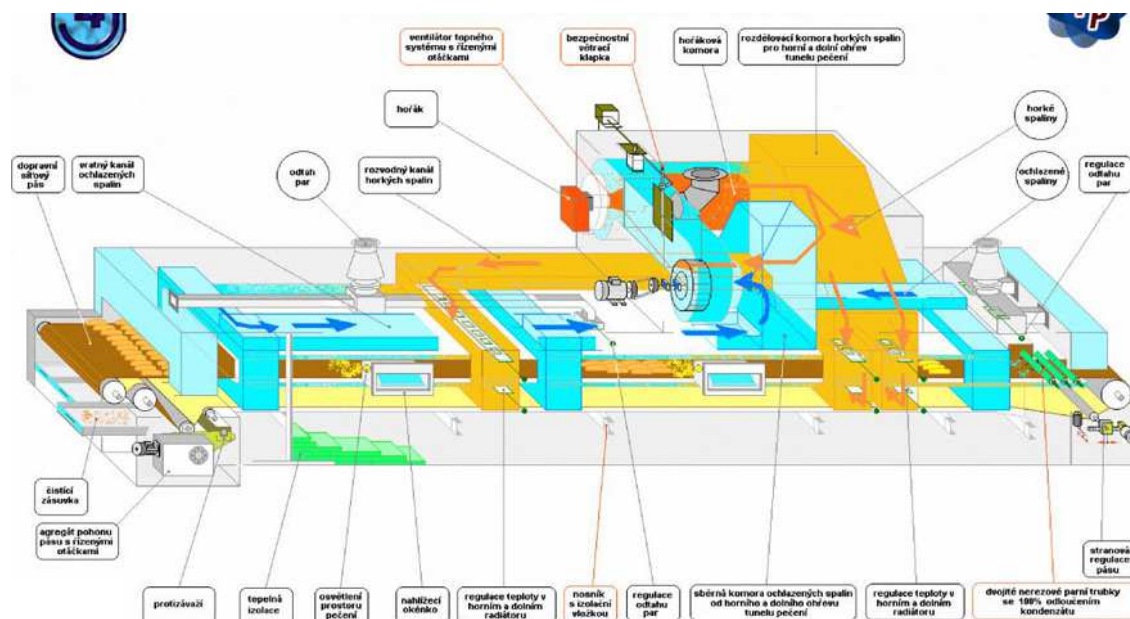
Periodické pece v tomto případě pracují cyklicky:

- zavážení pece I surovým polotovarem
- výpal materiálu v peci II podle zadaného teplotního režimu
- chlazení materiálu v peci III

Odpadní teplo vypáleného materiálu se vrací zpět procesu, kde se využívá k přehřevu nevypáleného materiálu při vstupu do pece a také k přehřátí spalovacího vzduchu do hořáků. Snižujeme tím množství plynu potřebného k výpalu, produkce odpadního tepla je taktéž spjata s technologickým procesem, takže vzniklé odpadní teplo má vždy své využití a není nutné ho mařit.

Tunelová pec podle schématu 2.3. má tři pásma:

- pásmo přehřívací
- pásmo vypalovací
- pásmo chladicí



Obrázek 2 - 2.3. tunelová pec [4]

Materiál je posouván proti směru proudění spalin, ve vypalovacím pásnu jsou hořáky, kam je přiváděn plyn a spalovací vzduch ventilátorem I. Sem je také přiváděn ohřátý vzduch z pásma rychlochlazení, který dodává ventilátor II. Do pásma mírného chlazení je vzduch přiváděn ventilátorem III, který se pak ohřátý vede do předehřívacího pásma. Tímto teplem se předehřívá surový materiál. Spaliny a přisátý vzduch ve vypalovacím pásnu se odsávají do komína. U těchto pecí je nejdůležitější seřízení tlakových poměrů v peci.

2.2. Využití odpadního tepla plynných látek

U tohoto typu DEZ se jedná především o citelné teplo spalin z jakýchkoliv průmyslových odvětví. Teplota odpadních spalin z jednotlivých výrobních odvětví značně kolísá v závislosti na odvětví, konkrétním producentovi a také na spalovaném palivu. Významnými producenty odpadních spalin jsou především hutní provozy (různé tavící a průmyslové pece na ohřev a tepelné zpracování materiálů, apod.), chemický průmysl (výroba určitých chemikálií probíhá za vysokých teplot, ohřev určitých plastických a gumárenských hmot na tvářecí, popř. lící teplotu), výroba stavebních hmot (cementářské pece, vypalovací pece, apod.), energetika (výroba tepla, páry a EE), potravinářský průmysl (výroba pečiva, uzenin, konzervovaných výrobků, apod.), atd.

Mimo citelné teplo spalin lze také využít citelné teplo ostatních plynů a odpadního vzduchu. Zdrojem jsou především plyny vznikající v hutnických provozech (vysokopeční plyn, koksárenský plyn, konvertorový plyn, apod.) a odpadní vzduch vznikající prakticky ve všech výrobních odvětvích. Citelné teplo lze použít především zpětně ve výrobním procesu nebo např. vytápění.

2.2.1. Rekuperace tepla

Tento způsob využívání odpadního tepla je výhodný zejména z těchto důvodů:

- využití tepla navazuje na technologický režim agregátu
- snižuje spotřebu paliva pro příslušný agregát
- teplo je využíváno celoročně po celou dobu, kdy je agregát v provozu, na rozdíl od systému, kde je využití odpadního tepla závislé na potřebě využitého DEZ

Často se využívá i kombinace obou způsobů, především u vysokoteplotních procesů, jelikož i po rekuperaci mají spaliny ještě dostatečně vysokou teplotu, aby je bylo možné využít například k ohřevu TUV nebo na vytápění.

2.2.2. Rekuperátory

Výměna tepla mezi spaliny a plynem probíhá kontinuálně, obě média jsou navzájem oddělena stěnou.

Podle materiálu je dělíme na:

- kovové
- keramické

Podle způsobu přenosu tepla je dělíme na:

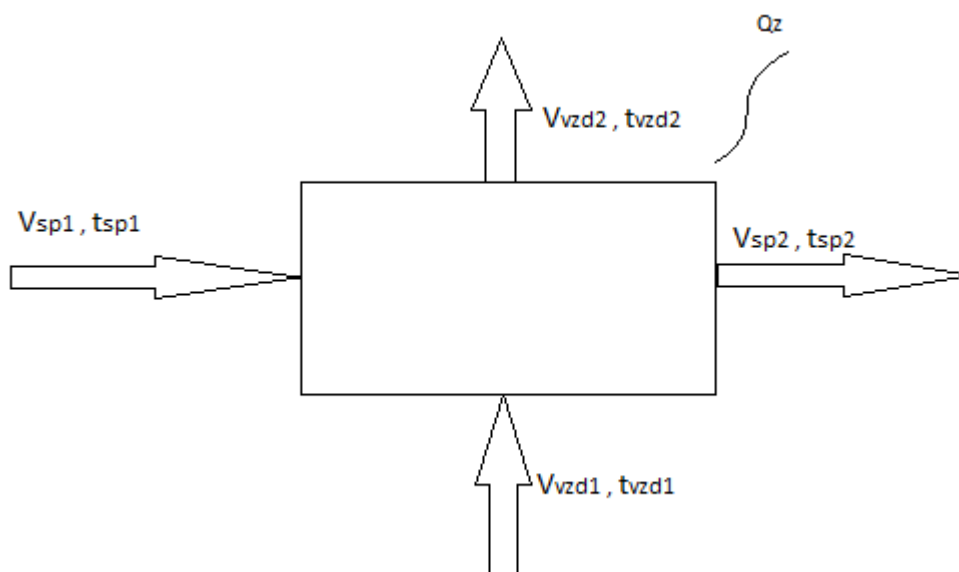
- sálavé
- konvekční
- kombinované

Využití tepla u rekuperátorů je omezené maximální teplotou stěny, která se u kovových rekuperátorů pohybuje okolo 700 - 800 °C, pro vyšší teploty je pak nutné použít legované, žáruvzdorné oceli. U keramických rekuperátorů se pak teplota stěny může pohybovat okolo 1 000 °C a výš. Tento faktor proto ovlivňuje maximální teplotu spalin před rekuperátorem a teplotu ohřátého plynu za ním. U kovových rekuperátorů je tedy teplota spalin maximálně 800 - 950 °C, ohřátý vzduch má potom teplotu 300 - 500 °C. U keramických potom teplota spalin dosahuje až 1 200 - 1 400 °C a teplota ohřátého vzduchu 850 - 950 °C. Tyto hodnoty jsou závislé především na součiniteli přestupu tepla ze spalin do stěny a ze stěny do ohřívajícího plynu.

Nevýhodou keramických rekuperátorů je netěsnost a nízký součinitel přestupu tepla, tím pádem má rekuperátor větší rozměry, což znamená problém s utěsněním.

Kovové rekuperátory bývají ocelové a litinové. Nevýhody litinových rekuperátorů je nižší těsnost ve spojích, zanášení povrchu znečištěnými spaliny a tím zhoršení prostupu tepla, mají naopak vyšší životnost než kovové rekuperátory.

2.2.3. Výměna tepla v rekuperátoru



Obrázek 3 - 2.4. bilance tepla v rekuperátoru [2]

Bilance tepla v rekuperátoru je vztažena na m_N^3 spalin resp. vzduchu, podle schématu 2.4. platí:

$$V_{sp1} \cdot C_{psp1} \cdot t_{sp1} + V_{vzd1} \cdot C_{pvzd1} \cdot t_{vzd1} = V_{sp2} \cdot C_{psp2} \cdot t_{sp2} + V_{vzd2} \cdot C_{pvzd2} \cdot t_{vzd2} + Q_z \quad [2] \quad (2.1)$$

Na levé straně bilanční rovnice je energie vstupující do rekuperátoru, na pravé straně je pak energie z rekuperátoru vystupující, Q_z pak představuje tepelnou ztrátu do okolí.

Pro dokonale těsný rekuperátor platí:

$$V_{sp1} = V_{sp2} \text{ tedy } V_{vzd1} = V_{vzd2} \quad [2] \quad (2.2)$$

V jiném případě dochází k tomu, že vzduch nasátý netěsnostmi do spalin je částečně ředí a ochlazuje. Na straně vzduchu je kvůli ventilátoru přetlak a na straně spalin vzniká podtlak, takže platí:

$$V_{vzd2} \leq V_{vzd1} \text{ a } V_{sp2} \geq V_{sp1} \quad [2] \quad (2.3)$$

V případě těsného rekuperátoru lze z bilanční rovnice 2.1 odvodit rovnici pro využitě teplo:

$$Q_u = V_{vzd1} \cdot C_{pvzd} \cdot (t_{vzd2} - t_{vzd1}) = V_{sp1} \cdot C_{psp} \cdot (t_{sp2} - t_{sp1}) \cdot \eta_z \quad [2] \quad (2.4)$$

Kde η_z je účinnost rekuperátoru, která vyjadřuje ztráty tepla do okolí, tento ukazatel závisí na velikosti povrchu rekuperátoru a na teplotním spádu, bývá 0,9 - 0,95.

2.2.4. Účinnost rekuperace

Je podíl využitého tepla k teplu přivedenému odpadním teplem spalin. Lze tedy definovat jako:

$$\eta_r = \frac{V_{vzd} \cdot C_{pvzd} \cdot (t_{vzd2} - t_{vzd1})}{V_{sp} \cdot C_{psp1} \cdot t_{sp1}} = \frac{V_{sp} \cdot C_{psp} \cdot (t_{sp1} - t_{sp2}) \cdot \eta_z}{V_{sp} \cdot C_{psp1} \cdot t_{sp1}} \quad [2] \quad (2.5)$$

Zavedeme-li přibližně stejné hodnoty měrné tepelné kapacity, tak dostaneme:

$$\eta_r = \eta_z \cdot \left(1 - \frac{t_{sp2}}{t_{sp1}} \right) \quad [2] \quad (2.6)$$

Účinnost využití odpadního tepla spalin je tedy závislá na:

- na teplotě spalin t_{sp1} při vstupu do rekuperátoru (čím je teplota vyšší, tím je i vyšší využitelnost tepla)
- na teplotě spalin t_{sp2} při výstupu spalin (čím je teplota nižší, tím vyšší je využitelnost)

Teplota t_{sp1} je daná teplotním režimem v agregátu, teplota t_{sp2} je omezená rosným bodem spalin, dochází ke kondenzaci vodních par ve spalinách a korozi tahů a zařízení za rekuperátorem. Ke korozi dochází především, když je ve spalinách oxid siřičitý. Hodnota rosného bodu je závislá na parciálním tlaku vody ve spalinách, to je dáno druhem a složením paliva a spalin.

Výpočet rekuperátoru je prakticky stejný jako u výměníků tepla:

$$Q = S \cdot k \cdot \Delta t_s \quad [2] \quad (2.7)$$

Z této rovnice lze vypočítat velikost teplosměnné plochy rekuperátoru S, součinitel prostupu tepla k, tedy součinitele přestupu na straně spalin α_1 a na

straně vzduchu α_2 se vypočítávají pomocí bezrozměrných kritérií Re, Pr, \dots . Střední logaritmický teplotní spád Δt_s je:

$$\Delta t_s = \frac{t_{sp1} - t_{vzd2} - (t_{sp2} - t_{vzd1})}{\ln \frac{(t_{sp1} - t_{vzd2})}{(t_{sp2} - t_{vzd1})}} \quad [2] \quad (2.8)$$

2.2.5. Provedení rekuperátorů

Sálavé rekuperátory - tvoří je dva sousedé válce, které mají malý rozdíl průměrů a jsou vyrobeny z legovaného plechu. Vnitřním válcem protékají spaliny, v prostoru mezikruží proudí vzduch. Tyto rekuperátory se hodí pro větší výkony a vyšší teploty spalin nad 700 °C. Přestup tepla ze strany spalin se uskutečňuje hlavně sáláním, množství předaného tepla závisí na čtvrté mocnině rozdílu teplot. Při nízkých teplotách je tepelný tok na stejné ploše malý. Sálavé rekuperátory buď samostatně před konvenčními rekuperátory nebo ve spojení s nimi.



Obrázek 4 - 2.5. sálavý rekuperátor [5]

Na obrázku 2.5. je sálavý rekuperátor pro velkou ohřívací karuselovou pec s příkonem 9 600 kW, maximální teplota ohřátého vzduchu činí 600°C, rekuperátor je vysoký 6 m a průměr jeho sálavé části je 2,2 m.

Konvekční rekuperátory - jsou buď z hladkých ocelových trubek nebo v případě zvětšení teplosměnné plochy z litinových žebrovaných trubek. Přestup tepla je zde uskutečněn především konvekcí, používají se pro teplotu spalin do 700 °C.

Kombinovaný rekuperátor - kombinuje výhody sálavých a konvekčních typů, proto je možné je použít v širším rozsahu teplot spalin.

Výpočet sálavého rekuperátoru se provádí v podstatě stejným způsobem jako při výpočtu přestupu tepla do sálavých teplosměnných ploch ve spalovací

komoře kotlů. Za teplosměnnou plochu považujeme vnitřní povrch trubky sálavého rekuperátoru.

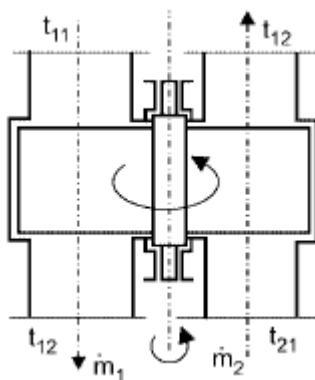
Keramický rekuperátor - tvoří ho keramické trubky, které jsou složeny ve tvaru plástů. Trubkami prochází vzduch, kolem trubek spaliny, spoje musí být dobře utěsněny.

2.2.6. Regenerátory

Výměna tepla mezi spaliny a vzduchem probíhá periodicky ve výplni regenerátoru, podle provedení se rozdělují na:

- regenerátory s pevnými komorami
- regenerátory otočné

Regenerátory s pevnými komorami - jedná se o dvě komory vyplněné mřížováním ze žáruvzdorných trubek.



Obrázek 5 - 2.5. regenerátor s pevnými komorami [5]

Na obrázku je regenerativní ohřev vzduchu u ohřívací pece s hořáky umístěnými na boku, spalování probíhá střídavě na levé a pravé straně. Přívod plynu je pro jednotlivé strany řízen revertovacím uzávěrem plynu, odtah spalin do komína z levé i pravé komory je usměrňován pomocí revertovací klapky. Spaliny tedy z jedné strany pece proudí jejím prostorem kolem ohřívajícího materiálu a jsou na druhé straně odsávány podtlakem komína kouřovými kanály ve zdivu přes regenerační komoru a revertační klapku do komína.

Spaliny předávají odpadní teplo akumulací do výplně regenerátoru, po určité době, zhruba 1-2 hodiny se provádí revertování, což znamená uzavření revertovacího uzávěru na přívodu plynu na straně pece, kde probíhalo vytápění plynem, přehodí se spalínová klapka a spalovací vzduch proudí přes vyhřátou výplň kouřovými kanály na druhou stranu pece.

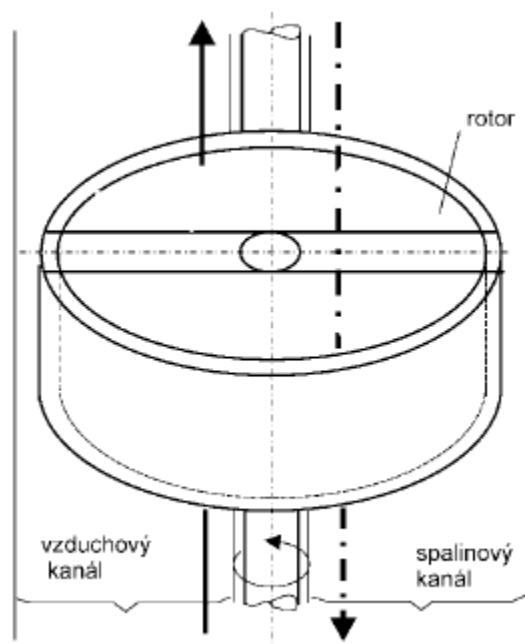
Celá operace se pravidelně podle potřeby neustále opakuje, nevýhody těchto regenerátorů jsou:

- rozdílná teplota ohřátého vzduchu na začátku a konci periody
- ztráta ohřátých spalin při revertování, asi 5 %
- velké rozměry a hmotnost regenerátoru

Otočné regenerátory - nejznámějším type je Ljungstroem, který se skládá z rotoru vyplněného ocelovými plechy, mezi kterými vznikají kanálky. Výška plechů se pohybuje kolem 0,6 - 1,2 m, rychlost rotoru je zhruba 3 - 4 otáčky za minutu, kdy jednou polovinou proudí spaliny, které předávají teplo výplni, když se regenerátor pootočí o 180°, nahřátá část se dostane do prostoru proudění ohřívaného vzduchu, kde pak předává své naakumulované teplo.

Výhodou regenerátoru je, že rozdíl teplot mezi vstupem spalin a výstupem vzduchu je výrazně nižší než u předchozího typu. Nepodléhají také tolik korozím, objem rekuperátorů je taktéž menší.

Nevýhodou je ztráta netěsnostmi, které rostou s rostoucím přetlakem ohřívaného vzduchu.



Obrázek 6 - 2.6. otočný regenerátor [5]

Tepelný tok získaný v regeneračním výměníku:

$$Q_{\tau} = U \cdot H \cdot \overline{\Delta t} \quad [5] \quad (2.9)$$

U – součinitel prostupu tepla [W.m².K⁻¹]

H – oboustranná teplosměnná plocha náplně [m²]

Δt – střední logaritmický teplotní rozdíl [K]

$$U = \frac{R}{\frac{1}{\chi_s \cdot \alpha_s} + \frac{1}{\chi_v \cdot \alpha_v}} \quad [5] \quad (2.10)$$

R - součinitel využití výhřevné náplně ($=0,75$)

α_s - součinitel přestupu tepla od spalín k teplosměnné ploše [$W.m^2.K^{-1}$]

α_v - součinitel přestupu tepla od teplosměnné plochy do vzduchu [$W.m^2.K^{-1}$]

χ_s - poměr průřezů spalínové části ohříváku k celkovému průřezu [-]

χ_v - poměr průřezů vzduchové části ohříváku k celkovému průřezu [-]

2.3. Využití odpadního tepla k vytápění, ohřevu TVU a technologické účely

Odpadní teplo se zde předává:

- a) Vodě – výměníky tepla spaliny-voda
- b) Páře – parní kotle na odpadní teplo (spalínové kotle)

2.3.1. Výměníky tepla

Jde o běžné výměníky tepla, trubkami obvykle protéká voda a kolem trubek proudí spaliny, výpočet teplosměnné plochy je obdobný jako u rekuperátorů, počítá se tedy za pomoci bezrozměrných kritérií.

Trubky bývají hladké nebo žebrované, aby se zvětšila jejich teplosměnná plocha.

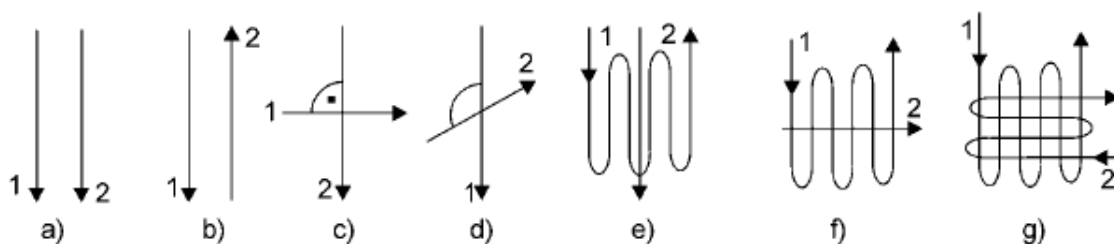
Dělíme je podle:

Účelu:

- a) ohříváky - vyznačují se tím, že ohřívání médium v nich zvyšuje svou teplotu, ale nedochází ke změně fáze
- b) chladiče - ochlazované médium snižuje v nich svou teplotu beze změny fáze
- c) výparníky a odparky - ohřívání kapalného médium se mění v páru;
- d) kondenzátory - teplejší médium v parní fázi mění fázi na kapalnou – kondenzát
- e) přehříváky a mezipřehříváky - slouží k vysoušení mokré a zvyšování teploty syté nebo přehřáté páry
- f) sušárny - přívodem tepla se dosahuje snížení vlhkosti látky v pevné fázi
- g) termické odplyňovány vody - ohřevem vody k bodu varu dochází k vylučování pohlčených plynů
- h) otopná tělesa ústředního vytápění - topné médium ohřívá okolní vzduch
- i) barbotážní - probublávání plynů nebo par vodou

Podle vzájemného směru proudění teplosměnných médií:

- a) souproudé - směry os proudů ohřívacího a ohřívaného média jsou rovnoběžné a vektory rychlostí mají stejný smysl
- b) protiproudé - směry proudů jsou rovnoběžné a mají opačný smysl
- c) křížové - osy proudů jsou mimoběžné a v kolmém průmětu spolu svírají úhel 90°
- d) se šikmým vzájemným proudem - osy proudů svírají v kolmém průmětu spolu úhel větší nebo menší než 90°
- e) vícenásobně souproudé, protiproudé a křížové proudění
- f) s kombinovaným prouděním.



Obrázek 7 - 2.7. a) souproud, b) protiproud, c) křížový proud, d) šikmý proud, e-g) kombinované proudění [5]

Podle skupenství pracovních médií

- a) bez změny skupenství teplotnosných látek
- b) se změnou skupenství jedné teplotnosné látky
- c) se změnou skupenství obou teplotnosných látek

3. Centralizovaná a decentralizovaná výroba tepla

3.1. Centralizovaná výroba tepla

Centrální zásobování teplem je systém dodávek tepla pro vytápění a ohřev teplé vody, kdy je teplo vyráběno centrálně ve vzdáleném zdroji a následně je poté rozváděno teplotárenskými sítěmi odběratelům do větších územních celků, městských čtvrtí, sídlišť, nebo průmyslových zón.

Jako každý zdroj má i centrální zásobování teplem své výhody a nevýhody. Mezi nesporné výhody patří bezpečnost (zdroj je mimo vytápěný objekt), bezobslužnost (pro koncového uživatele), jeden zdroj emisí, mimo obytnou či průmyslovou zónu, odpadávat ztráty při nabíhání technologie. Na druhou stranu ovšem musíme počítat s vyšší cenou tepla, velkými ztrátami tepla při přenosu od zdroje ke koncovému uživateli (do výměňikové stanice), pokud se zdroj, nebo přenosová soustava nějakým způsobem porouchá, nezůstane bez tepla a teplé vody jen jeden objekt, ale poměrně velký počet lidí.

V panelových domech převažuje centrální příprava teplé vody ve výměňikových stanicích, blokových kotelnách nebo domovní stanici / kotelně. Nicméně se lze setkat i se zcela decentralizovanou přípravou teplé vody například v elektrických ohřívačích.

SCZT rozdělujeme dle parametrů teplotonosné látky (chemicky upravená voda) na:

- parní
- horkovodní
- teplovodní

Parní SCZT - je vyráběna pára o parametrech 1,8 MPa a 240 °C, která je dodávána do parní tepelné sítě. Odtud probíhá buď přímý odběr páry pro technologické účely nebo nepřímý odběr pomocí výměňikových stanic. Pára proudí v parovodech pomocí vlastní tlakové energie, po předání tepla odběrateli je kondenzát odváděn zpět do zdroje za pomoci čerpadel a kondenzátního potrubí, vlastním tlakem nebo samospádem.

Horkovodní SCZT - jako teplotonosná látka slouží voda, která je ohřívána na teplotu 180 °C, ta je výstupní větví horkovodní sítě dopravována k předávacím stanicím. Ochlazená voda proudí zpátky vratnou větví do zdroje. Cirkulace horké vody v síti je zajištěna oběhovými čerpadly, které bývají umístěny ve zdroji. Horkovodní sítě jsou dimenzovány na konstrukční tlaky až do 2,5 MPa a bývají označeny jako primární.

Teplovodní SCZT - zde je doprava tepla od zdroje k odběrateli podobná jako v horkovodních soustavách, výstupní parametry teplotnosné látky jsou ovšem nižší (max. 110 °C a tlak 1,6 MPa). Aby bylo možné přímé napojení spotřebitelského zařízení na teplovodní síť, bývají parametry teplotnosné látky nastaveny ještě níž (max. 90 °C a 0,6 MPa.). Pokud je zdroj takovéto sítě předávací stanice, která je napájena z primárního okruhu, jedná se o sekundární teplotnou síť.

Tepelné síť - slouží k dopravě tepla od zdroje k odběrateli, patří sem také předávací stanice, ve kterých se upravují hodnoty dopravovaného média na hodnoty, které jsou požadovány odběratelem (snížení tlaku a teploty).

Jako vhodnější dopravní médium se ukazuje voda, obecně platí, že tam kde slouží dálkové zásobování teplem výhradně pro vytápění a ohřev TUV, bude výhodnější teplotnosnou látkou voda než pára.

3.2. Centralizovaná příprava teple vody

Zdrojem tepla pro dálkové vytápění a přípravu TUV je elektrárna (odpadní teplo z chladicích věží), teplárna s parní turbínou, plynovou turbínou nebo kogenerační jednotkou se spalovacím motorem zajišťující kromě tepla i výrobu elektrické energie nebo centrální kotelná, zajišťující pouze teplo pro technologii a vytápění firmy. Dálkové rozvody (napáječe), které zajišťují přívod tepla k jednotlivým objektům, jsou vedeny volně venkovním prostředím na nosných konstrukcích, v betonových kanálech v zemi nebo se v současné době dává přednost bezkanálovému uložení předizolovaného potrubí přímo do zemního výkopu. Primární napáječe pracují buď s parou (nad 150 °C), horkou vodou (do 130 °C) nebo otopnou vodou (do 110 °C).

K hydraulickému a teplotnímu oddělení primární napájecí sítě od vlastního zásobování haly slouží předávací výměňkové stanice, ve kterých se připravuje otopná voda a teplá voda podle požadavků dodávky.

Centrální zásobování teplotou vodou s dálkovými rozvody (čtyřtrubkové soustavy CZT: 2 x ÚT, TV + CV) vykazuje v současné době řadu technických problémů a z hlediska energetické náročnosti představují technologii s nízkou účinností vlivem vysokého podílu tepelných ztrát (stálá cirkulace TV, stav izolací) na celkové potřebě tepla na přípravu TV. Venkovní distribuční síť centrálního zásobování teplotou vodou v řadě podniků již překročily dobu své životnosti a jsou z velké části v nevyhovujícím stavu. V takových sítích dochází k nekontrolovaným únikům vody (nutnost rekonstrukce potrubí) a tepla (nutnost rekonstrukce tepelných izolací). Vlastní rekonstrukce a částečná náprava stavu je však silně závislá na ekonomické situaci správců venkovních sítí (dodavatelů teple vody).

Přechod ze čtyřtrubkových soustav centralizovaného zásobování teplem na dvoutrubkovou soustavu s návrhem instalace objektových předávacích stanic je v posledních letech nejvíce používaný způsob modernizace sítí CZT.

3.3. Decentralizované zásobování teplem

Jedná se o výrobu tepla přímo v místě spotřeby, zdroj bývá obvykle umístěn přímo v budově odbytu tepla. Byt, dům nebo tovární hala vybavená plynovým kotlem pro vytápění i ohřev TUV je typickým příkladem DZT.

3.4. Výhody a nevýhody CZT a DZT

Výhody CZT oproti DZT:

- tepelný zdroj má vyšší jednotkový výkon
- ve zdrojích mohou být uplatněna skoro vždy kogenerační zařízení
- zdroje mohou být vybaveny zařízeními na účinné snižování škodlivých emisí
- zdroj je možno umístit dále od obytné zástavby, případně v jedné kotelně jedná-li se o průmyslový podnik, bývají vybaveny vysokým komínem, který lépe rozptyluje emise do širšího okolí
- je možno dosáhnout lepších tepelně technických a ekologických ukazatelů i při použití tuhých paliv oproti lokálním zdrojům

Nevýhody CZT oproti DZT:

- výstavba nákladné tepelné sítě
- nutnost údržby tepelné sítě
- tepelné ztráty vzniklé při dopravě v primární i sekundární síti
- nutnost čerpací práce pro dopravu teponosné látky

4. Praktická část - zadání

Diplomová práce je zaměřena na optimalizaci výroby tepla v průmyslovém areálu s využitím odpadního tepla z kompresorů a galvanických van. V řešerši jsou popsány způsoby využívání odpadního tepla a popis centralizované a decentralizované výroby tepla.

V praktické části je na základě spotřeb podniku vytvořena energetická bilance stávajícího stavu, která je dále využita pro návrhy optimalizace energetického hospodářství. Dle zvolených opatření jsou dále vyčísleny energetické vstupy a výstupy, které slouží pro ekonomické vyhodnocení úsporných variant.

4.1. Popis energetických zdrojů

Současný tepelný systém byl vybudován v roce 1995, kdy byla provedena plynofikace kotelný HV2 (původně uhlí) a byla vybudována další kotelná HV1. Tomuto rozhodnutí předcházela diskuse o volbě optimalizace koncepce. Bylo vybráno řešení využívající centrální rozvod a respektující požadavky na vysoké teploty u technologie Galvanovny. Zdrojová část tepelné energie pro areál MEP Postřelmov tvoří dvě kotelný HV1 a HV2. Výstupem je teplá (projektovaná úroveň 90/70 °C) a horká voda (projektovaná úroveň 150/90 °C). Hlavní rozvod je proveden na páteřním energetickém mostě příčně přes areál ve směru V-Z. Z tohoto rozvodu jsou napájeny hlavní předávací stanice a následně tlakově závislým i nezávislým způsobem se dodává teplo na místa spotřeby.

Kotelna HV1

Kotelna HV1 je umístěna na jižní straně budovy Galvanovny, je horkovodního typu s výstupem HV o projektovaných parametrech 150/90 °C. Používá se pro technologii galvanovny a v létě pro ohřev TV pro celý areál. Zdrojem HV jsou tři kotle typu Roučka VHP 1040 á 1 040 kW, hořáky Weishaupt, účinnost 91 %.

Položka	Jednotka	technické údaje
Zdroj energie - typ		centrální kotelná
Odlučovací zařízení		[-]
Plynový kotel	ks	3
Výrobce		Roučka
Typ		VHP 1040
Rok výroby		1995
Rok repase		[-]
Palivo		zemní plyn
Parametry (tlak/tep.)	Mpa/°C	1,4/170
Médium		horká voda
Výkon	kW/h	1 040

Tabulka 2 - 4.1. technické údaje kotlů v kotelně HV1 [8]



Obrázek 8 - 4.2. kotelna HV1

Kotelna HV2

V kotelně HV2 umístěné na JZ straně areálu, jsou instalovány 2 teplovodní kotle na ZP. Kotle jsou typu Roučka VHP 5200, výkon 5 200 kW, účinnost 91 %.

Výstup je teplá voda 90/70°C s možností až 120/70°C při tlaku 4 MPa. Na rozdělovači jsou 3 vstupy (kotel 1, 2, demontovaná kogenerace), a vývod na most a pro topení kotelny. Čerpadla jsou na vratném potrubí a používají frekvenční měniče na regulaci otáček. V kotelně je chemická úprava vody pro napájení kotlů. Součástí kotelny HV2 je i prostor kde byla umístěna kogenerační jednotka. Tato jednotka byla v roce 2008 demontována. V místě zůstalo trafo pro napojení na VN.

Položka	Jednotka	technické údaje
Zdroj energie - typ		centrální kotelna
Odlučovací zařízení		[-]
Plynový kotel	ks	2
Výrobce		Roučka
Typ		VHP 5 200
Rok výroby		1995
Rok repase		[-]
Palivo		zemní plyn
Parametry (tlak/tep.)	Mpa/°C	1,4/170
Médium		teplá voda
Výkon	kW/h	5 200

Tabulka 3 - 4.3. technické údaje kotlů v kotelně HV2 [8]



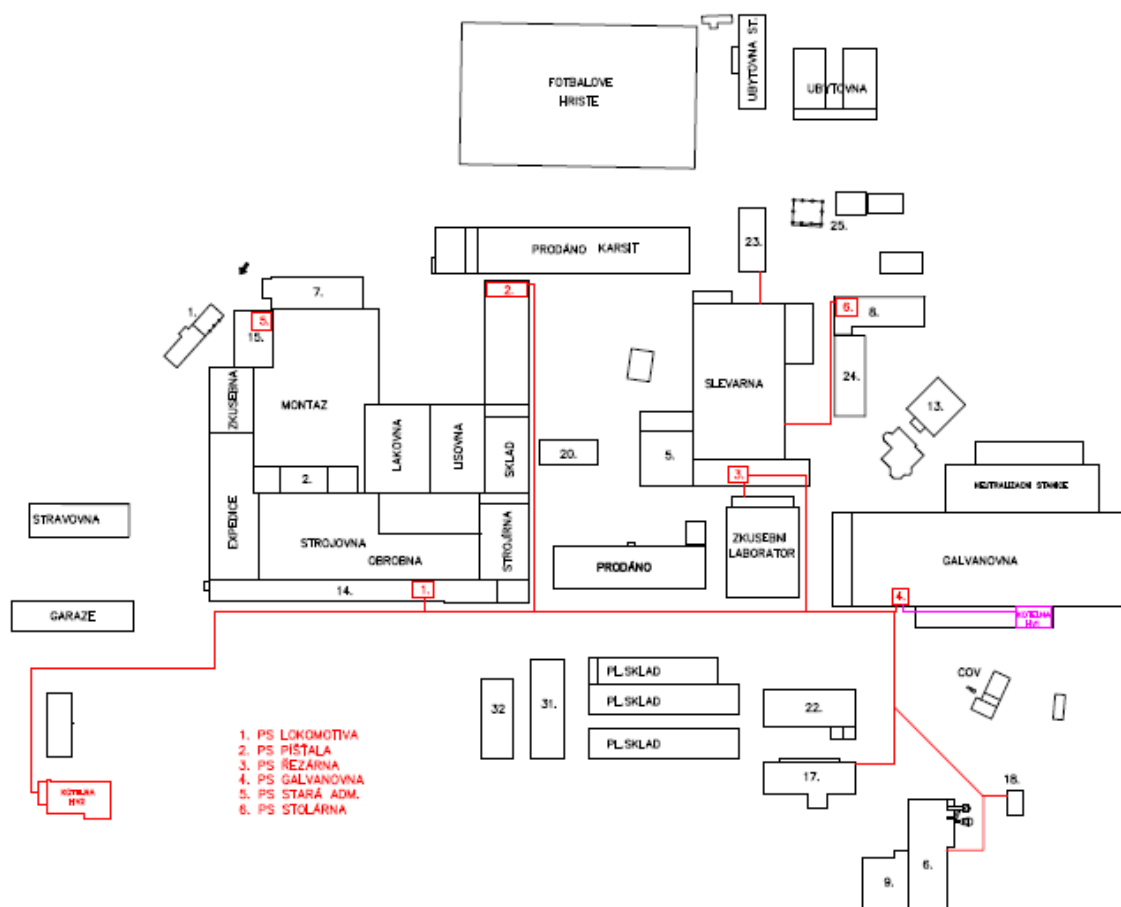
Obrázek 9 - 4.4. kotelna HV2

Hlavní předávací stanice tepla

Ze zdrojové části je proveden rozvod na hlavní předávací stanice tepla:

- PS Lokomotiva vybudována při rekonstrukci v r. 1995: používá 5 větví na rozdělovači pro halu s třicestným ventilem, pro výměník pro ÚT přístavku, pro výměník TUV 2,5 m3 pro šatny a kanceláře (v současné době se pro ohřev TUV používá odpadní teplo z kompresorů), používá ekvitermní regulaci.
- PS Píšťala: přívod z energomostu na SV straně skladů, tlakově závislé rozdělení na 7 vývodů s třicestným ventilem, tepelná izolace odpovídá době realizace, regulace je ekvitermní. Systém je z roku 1995.
- PS Stará admin.: umístěna v SZ rohu, vedle je výměník TUV (akumulační nádoba o objemu 4 m3), na 2. NP výměník pro administrativní budovu a starou administrativní budovu se základní regulací, dále stará VZT s určením pro větrání haly s ohřevem. V současné době je v provozu pouze ohřev TUV.
- PS Řezárna: protiproudý výměník bez regulace pro přístavek Slévárny, výměníky TUV (akumulace teplé vody $2 \times 1,6$ m3 s cirkulací TUV), použita je ekvitermní regulace.
- PS Galvanovna na 2.NP: propojovací stanice tepelného mostu mezi HV1 a HV2, přes výměník, vývod s regulací třicestným ventilem, na 1.NP je výměníková stanice Galvanovny, protiproudé výměníky ÚT 90/70 °C.

- PS Stolárna: výměníková stanice s $2 \times$ původně parními protiproudými výměníky, dnes na topnou vodu, regulace Metrik, stav tepelné izolace odpovídá stáří.



Obrázek 10 - 4.5. schéma zdrojové části tepelné energie [8]

Výčet všech energeticky významných výrobních technologií

- Zásobování teplem – centrální teplovodní plynová kotelná – HV2 a centrální horkovodní plynová kotelná – HV1
- Výroba topné vody a příprava TV pro jednotlivé objekty
- Technologické spotřebiče – tavicí pece Slévárny, chlazení lázní Galvanovny, kompresory, apod.
- Objekty areálu – Výrobní hala, Slévárna a Galvanovna
- Osvětlení – ve výrobních provozech, venkovní osvětlení

Kompresory vzduchu

Pro areál firmy slouží centrální kompresorovna umístěna na jižní straně objektu Strojírny vybudovaná v r. 2003. V kompresorovně jsou umístěny tři rotační šroubové kompresory.

U kompresorů Atlas Copco GA 45 a Kaeser DSC 201 SFC se využívá odpadní teplo získané chlazením kompresorů k ohřevu TV a teplovzdušnému vytápění sousedních hal.

Typ kompresoru	Výkon motoru	Kapacita	Max. prac. Tlak	Rok výroby
	kW	m ³ /h	bar	
Atlas Copco GA 45	45	480	7,5	2003
Atlas Copco GA 15	15	145	8,5	2002
Kaeser DSC 201 SFC	110	1050	10	2007

Tabulka 4 - 4.6. parametry kompresorů [8]

4.2. Spotřebiče zemního plynu

Zemní plyn je využíván především k výrobě tepla v kotelnách HV1 a HV2. Dále je zemní plyn využíván pro technologické účely ve Slévárně – spotřeba ZP pro tavicí pece hliníku a další tepelné zpracování.

Mezi hlavní spotřebiče ZP ve slévárně patří:

- plynový ohřívač vozíků: s regulací tlaku ZP, hořák DZ 80 1C, výrobce VČS Rosice u Chrásti, výkon 135 kW,
- plynová tavicí pec Sklenář č.2 výrobce MEZ Postřelmov, 1975, rekonstrukce 1983, výkon 349 kW s regulací tlaku ZP, hořák DZ 500-2A, výrobce VČP Hradec králové, 230-800 kW, nastaveno 587 kW, automatika hořáku AHDI -5
- plynová tavicí pec Sklenář č.3 výrobce MEZ Postřelmov, 1969, výkon 349 kW s regulací tlaku ZP, hořák DZ 500, výrobce VČP Hradec králové, 230-800 kW, nastaveno 587 kW, automatika hořáku AHDI
- plynová pec pro ohřev pánví 2 pracoviště: výrobce MEZ Postřelmov, 1983, hořák injektorový 2 ks, Škoda Klatovy, 1966, 2x40 kW, zapalovací hořák ZHII, výrobce Teplotechna Olomouc, 2 kusy, vysokorychlostní hořák HSH 02 T, 2 ks, výrobce MEZ Postřelmov, 1988, 2x 53 kW
- plynové ohřívače kokil 17 pracovišť: hořák HSH 02 T, 30 ks, výrobce MEZ Postřelmov, 1988, výkon 53 kW,
- plynová kelímková tavicí pec 550 kg Al: výrobce Ústav využití plynu, Brno, 2002, výkon 400 kW, hořák UNICAL 250, 250, automatika hořáku LTC 2002-004.

Plynový ohřívač vozíků, plynový ohřívač kokil a pánví vypouští spaliny do vnitřního prostoru Slévárny. Plynová tavicí pec Sklenář 2 a 3 a plynová kelímková tavicí pec mají spaliny odsávány nad střechu, stejně jako ohřev pánví.



Obrázek 11 - 4.7. tavící plynová pec Sklenár



Obrázek 12 - 4.8. kelímková tavící pec

4.3. Spotřebiče tepelné energie

Tepelná energie se v areálu společnosti využívá převážně pro vytápění objektů, přípravu teplé vody, a pro technologické účely (především pro technologii Galvanovny).

Technologické vany v Galvanovně tvoří velký objem a jsou podle požadavků technologie vyhřívány na teploty až 140 °C pro černění, 110°C nebo do 100°C. Vany starší kovové mají z velké většiny řešenou tepelnou izolací vytvořením vzduchové mezery mezi stěnami, zateplené vany mají vrstvu tepelné izolace. Regulace teploty je funkční pouze v několika případech. Ve velké většině se řídí přívod topné vody ručně nebo jde na přímo v plné světlosti. Příčinou nefunkčnosti je silně korozivní prostředí.

Odsávání vzduchu v Galvanovně je použito z hygienických důvodů. Vyprojektovaný systém je podtlakový, nový vzduch se ohřívá teplem z výměníku. V současné době jsou vstupní ohřívací bloky nefunkční a nepoužívají se.



Obrázek 13 - 4.9. galvanovna

5. Energetická bilance současného stavu

Je základním nástrojem energetické soběstačnosti. Nejprve je nutné sečíst ztráty (potřeby), dále je nutné zvážit, zda je možné ztráty snížit a jaké budou náklady. Je potřeba zjistit zisky a míru jejich skutečného využití.

Z matematického hlediska bereme energetickou bilanci jako rovnici, ve které platí, že celková vstupní energie je rovna množství jednotlivých složek výstupní energie.

5.1. Spotřeba zemního plynu

ZP je využíván k vytápění, přípravě TV a technologické účely. Spotřeba ZP za poslední uplynulý rok byla získána z fakturačních dokladů.

	Nákup ZP [m ₃]	Cena [tis.Kč]
Leden	237 026	1 577,06
Únor	222 484	1 495,95
Březen	180 021	1 213,53
Duben	113 882	856,79
Květen	111 896	889,13
Červen	93 697	810,61
Červenec	77 628	726,28
Srpen	85 865	802
Září	91 976	865,73
Říjen	128 551	1 141,28
Listopad	177 980	1 522,04
Prosinec	168 267	1 451,64
Celkem	1 689 273	13 352,04

Tabulka 5 - 5.1. nákup zemního plynu [8]

Nákup ZP			Náklady	Jednotkové náklady	
m ³	MWh	GJ	tis.Kč	Kč/m ³	Kč/GJ
1 689 273,00	17 941,70	58 131,20	13 352,04	7,9	229,69

Tabulka 6 - 5.2. celková spotřeba, náklady, jednotkové náklady. 1 MWh = 3,24 GJ [8]

5.2. Teplo

Podnik je zásobován teplem ze dvou plynových kotelen HV1 (horkovodní) a HV2 (tepl vodní), spotřeba plynu kotelen je započítána v celkové spotřebě ZP v tab.5.1.

	kotelna HV1	kotelna HV2
Leden	3 005	3 644
Únor	2 683	3 570
Březen	3 304	1 606
Duben	2 911	0
Květen	2 843	0
Červen	2 278	0
Červenec	1 890	0
Srpen	2 042	0
Září	2 252	0
Říjen	3 342	0
Listopad	4 246	589
Prosinec	3 486	1 145
Celkem	34 282	10 554

Tabulka 7 - 5.3. teplo vyrobené v kotelnách [8]

5.3. Elektrická energie

Dodavatelem EE do areálu firmy je společnost Slovenské elektrárne a.s. Spotřeby a platby byly získány z fakturačních dokladů, roční rezervovaná kapacita činí 1,7 MW.

	Nákup EE [MWh]	Cena [tis.Kč]
Leden	610,30	1 423,08
Únor	571,21	1 350,83
Březen	613,88	1 437,13
Duben	534,53	1 278,04
Květen	547,25	1 300,90
Červen	544,40	1 299,61
Červenec	468,94	1 154,18
Srpen	517,90	1 252,71
Září	512,98	1 253,09
Říjen	571,07	1 385,15
Listopad	616,13	1 473,21
Prosinec	555,45	1 358,49
Celkem	6 664,01	15 966,41

Tabulka 8 - 5.4. spotřebovaná EE [8]

5.4. Základní soupis energetických vstupů a výstupů

Vstupy paliva a energie	Jednotka	Množství	Výhřevnost	Přepočet na GJ	Měrné náklady	Roční náklady
			GJ/jedn.	GJ	Kč/GJ	Kč/rok
El. Energie	MWh	6 408,69	3,6	23 071,30	668,23	15 416 898,00
Zemní plyn	MWh	17 306,13	3,24	56 071,90	274,67	15 401 034,00
Celkem vstupy paliv a energie				79 143,20		30 817 936

Tabulka 9 - 5.5. soupis energetických vstupů za poslední rok [8]

6. Rozvody energií

6.1. Rozvod tepla a TV

Areál je zásobován teplem ze dvou kotelen. Kotelna HV1 je plynová horkovodní kotelna (150/90 °C) a má své rozvody napojeny na:

- oddělovací výměník rozvodů topná (teplá) voda/horká voda v PS Galvanovny
- výměňkovou stanici Galvanovna
- výměník horká voda/topná (teplá) voda v prostoru kotelny.



Obrázek 14 - 6.1. oddělovací výměník (propojení kotelen HV1 a HV2)

Kotelna HV2 je plynová teplovodní kotelna (90/70 °C) napojena na potrubní páteřní energetický most, který je veden ve směru Z-V mezi HV2 a HV1. Hlavní odbočky z tohoto mostu jsou:

- na Vodárnu, nadzemní potrubí DN 6/4“,
- do PS Lokomotiva objekt soc. – administrativní budovy, potrubí DN 150,
- do PS Píšťala objekt skladu, potrubí DN 250,
- do Obloukové haly potrubí DN 5/4“,
- odbočka na Slévárnu potrubí ISO Plus DN 150, s odbočením na Zkušebnu potrubím ISO Plus DN 80,
- odbočka na Impregnační stanici a Plynovou regulační stanici potrubím DN 100
- odbočka na Vstupní spínací stanici potrubím DN 100

Prívod do Slévárny, kde zásobuje PS Řezárna, pokračuje:

- do rozdělovače na SZ straně Slévárny potrubím DN 100 a dále ISO Plus do Ubytovny DN 100 (ubytovna je v současné době odpojena) s odbočením na Sklad hořlavin
- do Stolárny DN 100

Potrubní most má parametry:

- od HV2 do odbočky na PS Píšťala DN 250
- od odbočky PS píšťala do VS Západ Galvanovna DN 200
- od VS Západ Galvanovna do HV1 potrubím DN 150

Potrubní most byl vybudován v roce 1984. Potrubí je opatřeno tehdy používanou izolací tloušťky 80 a 100 mm (potrubí prošlo částečnou rekonstrukcí). Regulace teploty na větvích není použita. Hydraulické vyrovnání je nastaveno podle zkušeností a nemění se.



Obrázek 15 - 6.1. páteřní rozvody

6.2. Ztráty tepla v rozvodném potrubí

V areálu firmy jsou vedeny páteřní rozvody topné vody převážně na energomostu. Rozvody jsou ze svařovaného ocelového potrubí s tepelnou

izolací. TV je k jednotlivým místům spotřeby rozvedena pomocí potrubí opatřených tepelnou izolací.

Pro výpočet tepelných ztrát trubky je nejdřív nutné znát součinitel prostupu tepla:

$$q_l = \frac{\pi \cdot (t_1 - t_2)}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \sum_{i=1} \frac{1}{2 \cdot \lambda_i} \cdot \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_{n+1}}} \quad [9] \quad (6.1)$$

Kde na přestup tepla má vliv:

Materiál trubky - minimálně

Materiál izolace - podstatně

α_{n+1} - přestup tepla mezi povrchem potrubí a okolím

Známe-li součinitel prostupu tepla q_l a délku potrubí l je pak možné vypočítat celkové ztráty daného úseku:

$$Q_z = q_l \cdot l \cdot (t_1 - t_2) \quad [9] \quad (6.2)$$

V následujících tabulkách jsou uvedeny specifikace potrubí a ztráty jednotlivých úseků.

Vstupní data		
Teplota v potrubí - přívod	150	°C
Teplota v potrubí - zpátečka	90	°C
Lambda tepelné izolace	0,12	W/m/K
Lambda ocelového potrubí	58	W/m/K
alfa 1 (uvnitř potrubí)	250	W/m ² /K
alfa 2 (okolní vzduch)	12	W/m ² /K

Tabulka 10 - 6.1. specifikace rozvodů z kotelny HV1 [8]

Vstupní data		
Teplota v potrubí - přívod	90	°C
Teplota v potrubí - zpátečka	70	°C
Lambda tepelné izolace	0,12	W/m/K
Lambda ocelového potrubí	58	W/m/K
alfa 1 (uvnitř potrubí)	250	W/m ² /K
alfa 2 (okolní vzduch)	12	W/m ² /K

Tabulka 11 - 6.2. specifikace rozvodů z kotelny HV2 [8]

Rozvody - přívod (horkovod)	DN potrubí	Průměr potrubí	Tloušťka izolace	Délka úseku	Měrné ztráty potrubí	Tepelná ztráta úseku	Spotřeba tepla
Úsek potrubí		m	m	m	W/m	kW	GJ/rok
HV1 - PS galvanovna	150	0,17	0,06	77,0	145,46	11,20	353,21
CELKEM						11,2	353,2

Tabulka 12 - 6.3. tepelné ztráty horké vody z HV1 (přívod)

Rozvody - zpátečka (horkovod)	DN potrubí	Průměr potrubí	Tloušťka izolace	Délka úseku	Měrné ztráty potrubí	Tepelná ztráta úseku	Spotřeba tepla
Úsek potrubí		m	m	m	W/m	kW	GJ/rok
HV1 - PS galvanovna	150	0,17	0,06	77,0	83,93	6,46	203,80
CELKEM						6,5	203,8

Tabulka 13 - 6.4. tepelné ztráty horké vody do HV1 (vrat)

Rozvody - přívod	DN potrubí	Průměr potrubí	Tloušťka izolace	Délka úseku	Měrné ztráty potrubí	Tepelná ztráta úseku	Spotřeba tepla
Úsek potrubí		m	m	m	W/m	kW	GJ/rok
HV2 - most odb. píšťala	250	0,27	0,10	259,00	46,95	12,16	383,44
most píšťala - PS píšťala	250	0,27	0,10	134,00	46,95	6,29	437,76
most píšťala - most HV1	200	0,22	0,10	143,00	88,02	12,59	396,94
most HV1 - epoxydárna	100	0,11	0,07	114,00	69,54	7,93	249,99
most - slévárna hala	150	0,17	0,10	67,00	73,15	4,90	154,56
slévárna hala - stolárna	100	0,11	0,07	55,00	69,54	3,82	120,61
CELKEM						47,7	1743,3

Tabulka 14 - 6.5. tepelné ztráty teplé vody z HV2 (přívod)

Rozvody - zpátečka	DN potrubí	Průměr potrubí	Tloušťka izolace	Délka úseku	Měrné ztráty potrubí	Tepelná ztráta úseku	Spotřeba tepla
Úsek potrubí		m	m	m	W/m	kW	GJ/rok
HV2 - most odb. píšťala	250	0,27	0,10	259,00	36,47	9,45	297,91
most píšťala - PS píšťala	250	0,27	0,10	134,00	36,47	4,89	330,78
most píšťala - most HV1	200	0,22	0,10	143,00	66,51	9,51	299,94
most HV1 - epoxydárna	100	0,11	0,07	114,00	52,54	5,99	188,90
most - slévárna hala	150	0,17	0,10	67,00	55,27	3,70	116,79
slévárna hala - stolárna	100	0,11	0,07	55,00	52,54	2,89	91,13
CELKEM						36,4	1325,4

Tabulka 15 - 6.6. tepelné ztráty teplé vody do HV2 (vrat)

V tabulkách jsou zahrnuty pouze ztráty venkovních rozvodů, ztráty vnitřních rozvodů nejsou započítány, tvoří prakticky tepelné zisky objektů.

Rozvody nejsou striktně odděleny, kotelny jsou propojeny prostřednictvím výměníku (viz obr.6.1.).

7. Řešení decentralizace a využití odpadního tepla

Na základě analýzy stávajícího stavu byla odhalena následující zjištění:

- Stávající spotřeba tepelné energie na vytápění a přípravu TV je relativně vysoká.

Proto se navrhuje decentralizace areálu firmy => zvýšení účinnosti zdrojů tepelné energie a snížení ztrát, které vznikají v páteřních rozvodech. To znamená celkové zrušení kotelny HV2 včetně jejich páteřní rozvodů.

- Dále pak výměna stávajícího kotle za nový horkovodní kotel s integrovaným ekonomizérem, čímž dojde ke zvýšení účinnosti kotelny a snížení spotřeby plynu.
- Využití odpadního tepla z tavicích pecí ve slévárně. Odpadní teplo bude využito k přípravě horké topné vody 140/110°C pro potřeby galvanovny, především pro její technologický chod.
- Posledním opatřením je využívání odpadního tepla kompresorů pro přípravu TV a vytápění.

7.1. Decentralizace areálu

7.1.1. Popis opatření, ztráty

Jedná se zejména o změnu systému vytápění výrobních hal a návrh nových tepelných zdrojů. Vytápění areálu bude řešeno především pomocí infrazářičů, VZT a lokálních kotlen. Rovněž teplá voda bude připravována pro jednotlivé objekty v lokálních kotelnách, popřípadě využitím odpadního tepla z kompresorů apod. Galvanovna bude nadále zásobována teplem pro vytápění, přípravu teplé vody a technologii ze stávající kotelny HV1. Opatření je navrženo bez vlivu ostatních opatření, tzn. jako by žádné z dalších uvedených opatření nebylo realizováno.

Tepelné ztráty objektů (popř. jejich částí) jsou uvedeny tab.7.1. a byly převzaty z dříve zpracovaného energetického auditu a předchozích studií.

Výrobní hala (montáž, brusírna, lakovna, lisovna, strojovna, obrobna administrativa, šatny, strojírna a sklady) bude vytápěna především infrazářiči. Dále budou v objektu umístěny teplovodní plynové kotelny, v nichž budou instalovány plynové kondenzační kotle. Plynové kotelny budou sloužit především pro zásobování teplem nevýrobních částí objektu, jako jsou administrativa a šatny. Dále bude využito vytápění pomocí vzduchotechnických jednotek a to především lakovny a částečně obrobny.

Rovněž v objektu Slévárna bude k vytápění využito především infrazářičů. Řezárna umělých hmot bude zásobována teplem pomocí vzduchotechniky a nové plynové kotelny. Tato plynová kotelna bude zásobovat teplem i sociální a administrativní přístavek.

Dodávka tepla do objektu Galvanovny zůstane zachována ze stávající kotelny HV1.

Ostatní objekty v areálu budou zásobovány teplem pomocí teplovodních plynových kotlen, jejichž výkon by měl být dimenzován minimálně ve výši tepelných ztrát jednotlivých objektů. V objektu Vrátnice zůstane zachováno stávající vytápění pomocí elektrických topidel. Ohřev TV je řešen el. zásobníkovým ohřívačem.

Objekt	Tep. Ztráty [kW]
Hala výroby	2 440
Slévárna + řezárna	629
Galvanovna	1 842
Impregnační stanice + epoxidárna	204
Stolárna + svařovna	148
vstupní spínací stanice	36
Sklad chemikálií	80
Sklad hořavin	35
Vila	49
Tepelné zpracování	91
Vodárna	42
EL. Zkušebna	163
Celkem	5 759

Tabulka 16 - 7.1. tepelné ztráty objektů [8]

K novým plynovým spotřebičům bude vybudován plynovod. Od regulační stanice, která je umístěna na východní straně areálu povede plynové potrubí po energomostě až k objektu Galvanovny, odtud bude nový plynovod rozveden po areálu. Plynovod bude veden v zemi, popř. po fasádách a uvnitř objektů, až k jednotlivým odběrným místům. Rozvod zemního plynu po areálu bude středotlaký. V odběrných místech bude středotlaký zemní plyn zredukován na nízkotlaký.

Decentralizací areálu dojde ke zrušení stávající teplovodní kotelny HV2 a ke zrušení páteřních rozvodů tepla v areálu. Zachován zůstane pouze potrubní rozvod mezi kotelnou HV1, který je umístěn u objektu Galvanovna, a předávací stanicí Galvanovny.

V areálu budou pro jednotlivé objekty většinou instalovány malé lokální plynové kotelny a plynové infrazářiče. Výkon jednotlivých zdrojů bude relativně malý, a proto nebyla v areálu navržena kogenerační jednotka (KGJ) pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla. Do kotelny HV1 nebyla KGJ navržena především z toho důvodu, že je kotelna HV1 horkovodní (tepelný spád převážně 140/110°C) a KGJ je ve většině případů provozována na tepelném spádu 90/70 °C. Z KGJ je možné získat i vyšší teploty než 90°C,

avšak na úkor účinnosti kogenerační jednotky. Voda vracející se do KGJ (zpátečka) musí mít teplotu do cca 80 °C, aby bylo zajištěno dostatečné vychlazení motoru kogenerační jednotky.

7.1.2. Investiční a provozní náklady

V Následujících tabulkách jsou uvedeny investiční náklady na opatření a úspora provozních nákladů po realizaci.

Položka	Jednotka	Hodnota
Infrazářiče, teplovzdušné jednotky a plynové vložky	tis.Kč	8 730
Plynové kondenzační kotle	tis.Kč	2 860
Propojení nových spotřebičů ZP, rozvody ZP, regulátory plynu	tis.Kč	2 740
Ostatní (doprava, montáž, čerpadla, expanze, MaR, PD apod.)	tis.Kč	3 090
Investiční náklady celkem	tis.Kč	17 420

Tabulka 17 - 7.2. investiční náklady na realizaci

Ukazatel	Jednotka	Hodnota
Úspora nákladů za nenakoupený ZP	tis.Kč	1 828
Úspora nákladů (provozní příjmy)	tis.Kč	1 828
Náklady na kontroly a revize plynových zařízení	tis.Kč	47
Pojištění zařízení	tis.Kč	21
Provozní náklady	tis.Kč	68
Celková úspora nákladů	tis.Kč	1 760

Tabulka 18 - 7.2. úspora provozních nákladů po realizaci

7.1.3. Potenciál úspor

Předpoklad při ekonomickém hodnocení je financování opatření z vlastních peněz bez úvěrů a úroků z úvěrů.

Ukazatel	Jednotka	Hodnota
Investiční náklady	tis.Kč	17 420
Provozní příjmy	tis.Kč/rok	1 827,8
Provozní náklady	tis.Kč/rok	67,8
Přínosy projektu celkem	tis.Kč/rok	1 760
Diskontní sazba	%	3,06
Čistá současná hodnota NPV	tis.Kč	8 243
Vnitřní výnosové procento IRR	%	8,06
Prostá doba návratnosti Ts	roky	10,6
Reálná doba návratnosti Tsd	roky	12,5
Doba životnosti TŽ	roky	20
CF - úspora na konci hodnoceného období	tis.Kč	16 607

Tabulka 19 - 7.3. ekonomické vyhodnocení opatření

7.1.4. Výhody a nevýhody decentralizace

Výhody opatření:

- Úspora nákladů na vytápění
- Možnost topit pouze v prostorách, kde se nacházejí zaměstnanci (infrazářiče)
- Zmodernizování systému vytápění
- Snížení tepelných ztrát v rozvodech (zrušení části páteřních rozvodů)
- Snížení tepelných ztrát kotlen (zrušení kotelny HV2)

Nevýhody opatření:

- Vysoké celkové investiční náklady
- Možné omezení výroby v době instalace infrazářičů
- Zvýšení nákladů na kontroly a revize plynových zařízení

7.2. Instalace nového kotle s kondenzačním výměníkem

7.2.1. Popis opatření, množství vyrobeného tepla

V tomto opatření je navržena náhrada jednoho plynového horkovodního kotle v kotelně HV1. Nový kotel bude mít obdobné parametry jako stávající kotel (výkon, teplota vstupní a výstupní vody, apod.).

V kotelně HV1 jsou tři horkovodní plynové kotle o tepelných výkonech 3 x 1,04 MW. Stáří kotlů je 20 let (rok výroby 1995). Jejich průměrná účinnost se pohybuje okolo cca 87 až 89%. Vzhledem ke stáří kotlů a jejich účinnosti doporučujeme výměnu alespoň jednoho z kotlů, který bude využit přednostně a zbylé dva kotle budou sloužit jako doplňkové zdroje v případě, kdy nebude mít nový kotel dostatečný výkon.

Do kotelny se navrhuje umístit nový horkovodní kotel s integrovaným ekonomizérem a dále se navrhuje umístit do kouřových cest, za integrovaný ekonomizér, kondenzační výměník pro využití kondenzačního tepla spalin. Účinnost nového kotle s integrovaným ekonomizérem je dle výrobce 95,4% (ve výpočtech je uvažováno s průměrnou účinností kotle ve výši 94,8 %). Využitím kondenzačního výměníku, při plném zatížení nového kotle, lze teoreticky zvýšit účinnost využití paliva.

Teplo vyrobené v kotlích lze využít stávajícím způsobem – teplo pro vytápění, přípravu teplé vody a technologické účely. Teplo získané z kondenzačního výměníku lze využít např. pro přípravu teplé vody, ohřev některých lázní v Galvanovně, vytápění Galvanovny.

Množství tepla, které je možné vyrobit v novém kotli a získat z kondenzačního výměníku bylo stanoveno následovně. Jako výchozí stav byla využita průměrná výroba tepla v kotelně HV1 za roky 2010 a 2011. Tato výroba tepla byla přepočtena přes maximální možnou výrobu tepla v novém kotli, aby

bylo možné stanovit, kolik tepla lze vyrobit v novém kotli a kolik tepla bude vyrobeno ve stávajících kotlích. Protože se předpokládá, že nový kotel nemusí být v provozu vždy na maximální možný výkon, byla výroba tepla pomocí nového kotle snížena a toto množství energie bylo připočteno k výrobě ve stávajících kotlích. Množství tepla vyrobeného v novém kotli a ve stávajících kotlích je uvedeno v následující tabulce, stejně jako maximální množství získaného tepla z kondenzačního výměníku, odpovídající provozu nového kotle. Ve výpočtech byla předpokládána vstupní teplota vody do kondenzačního výměníku ve výši 40°C, výstupní teplota vody cca 90°C.

	Výroba tepla			Teplo z výměníku
	HV1 průměr	Novým kotlem	Stávajícím kotlem	
	GJ	GJ	GJ	
leden	2 729,50	2 183,60	545,9	166,7
únor	2 484	1 987,20	496,8	166,9
březen	2 890	2 228,40	661,6	187,1
duben	2 920,50	2 156,50	764	181,1
květen	2 507	2 005,60	501,40	168,4
červen	2 069	1 655,20	413,80	139
červenec	1 688,50	1 350,80	337,70	113,40
srpen	1 853	1 482,40	370,60	124,5
září	2 148,50	1 718,80	429,70	144,30
říjen	2 967	2 228,40	738,60	187,1
listopad	3 756	2 156,50	1 600,00	181,10
prosinec	3 151,50	2 228,40	923,10	187,10
Celkem	31 165	23 382	7 783	1 947

Tabulka 20 - 7.4. srovnání výroby tepla ve stávajícím a novém kotli [8]

Protože nebyly dodány podklady o spotřebách tepla pro technologické ohřevy (především pro nízkoteplotní vany), přípravu teplé vody apod. – spotřeby nejsou měřeny, předpokládá se pouze částečné využití tepla z kondenzačního výměníku.

V případě, že by bylo možné využít větší množství tepla z kondenzačního výměníku, popř. i vyšší využití nového kotle, bude zvýšena úspora paliva (zemního plynu), a tím zlepšena i ekonomika celého opatření.

7.2.2. Investiční a provozní náklady

V Následujících tabulkách jsou uvedeny investiční náklady na opatření a úspora provozních nákladů po realizaci.

Položka	Jednotka	Hodnota
Kotel s integrovaným "ekem" a kond. výměníkem vč. příslušenství	tis.Kč	1 840
Propojení nového kotle + nové rozvody ke spotřebičům	tis.Kč	1 040
Oběhová čerpadla, armatury, systém MaR, další příslušenství	tis.Kč	595
Ostatní náklady (akumul. nádoba TV, doprava, montáž, PD a další)	tis.Kč	680
Investiční náklady celkem	tis.Kč	4 155

Tabulka 21 - 7.5. investiční náklady na realizaci

Ukazatel	Jednotka	Hodnota
Úspora nákladů za nenakoupený ZP	tis.Kč	767,9
Úspora nákladů (provozní příjmy)	tis.Kč	767,9
Pojištění zařízení	tis.Kč	5
Provozní náklady	tis.Kč	5
Celková úspora nákladů	tis.Kč	763

Tabulka 22 - 7.6. úspora provozních nákladů po realizaci

7.2.3. Potenciál úspora

Předpoklad při ekonomickém hodnocení je financování opatření z vlastních peněz bez úvěrů a úroků z úvěrů.

Ukazatel	Jednotka	Hodnota
Investiční náklady	tis.Kč	4 155
Provozní příjmy	tis.Kč/rok	767,9
Provozní náklady	tis.Kč/rok	5
Přínosy projektu celkem	tis.Kč/rok	762,9
Diskontní sazba	%	3,06
Čistá současná hodnota NPV	tis.Kč	7 033
Vnitřní výnosové procento IRR	%	19,17
Prostá doba návratnosti Ts	roky	6
Reálná doba návratnosti Tsd	roky	6,5
Doba životnosti TŽ	roky	20
CF - úspora na konci hodnoceného období	tis.Kč	10 658

Tabulka 23 - 7.7. ekonomické vyhodnocení opatření

7.2.4. Výhody a nevýhody instalace kotle

Výhody opatření:

- Úspora nákladů na zemní plyn
- Instalace nového zdroje do kotelny HV1 s vyšší účinností
- Využití kondenzačního tepla spalín
- Velmi dobré ekonomické ukazatele

Nevýhody opatření:

- Nutnost využít teplo z kond. výměníku – příprava TV, ohřev nízkoteplotních van v Galvanovně, vytápění (při tepelném spádu topné vody např. 60/40°C) apod.

7.3. Využití odpadního tepla z tavicích pecí ve slévárně**7.3.1. Popis opatření**

V tomto opatření je navrženo využití odpadního tepla z tavicích pecí hliníku umístěných v objektu Slévárna.

Ve Slévárně jsou nainstalovány tři tavicí pece na hliníkové slitiny. Odtah spalin je od jednotlivých pecí proveden pomocí VZT potrubí, které je instalováno nad vsázkovým otvorem na vrcholu pece. Jednotlivá VZT potrubí jsou svedena do jednoho potrubí, odkud jsou spaliny odtahovány pomocí ventilátoru do vnější atmosféry. Pro tavení hliníku jsou v pecích nainstalovány hořáky využívající jako palivo zemní plyn. Dvě pece jsou typu Sklenar 250/2 s výkonem hořáku 230 až 800 kW (výkon hořáku nastaven na 587 kW), třetí pec je kelímková pec s výkonem hořáku 250 kW. Odtahový ventilátor je typu RSA 630, výrobce Janka Radotín, rok výroby 1975. Průtočné množství je 12 600 m³/h.

Odpadní teplo bude využito pro ohřev topné vody pro technologii Galvanovny s tepelným spádem cca 140/110°C. Provoz Galvanovny je nepřetržitý, proto lze nepřetržitě využívat i odpadní teplo z tavicích pecí. Využití odpadního tepla bude provedeno pomocí výměníku spaliny / horká voda. Topná voda bude vedena novým potrubím do objektu Galvanovny, kde bude napojena do stávajícího topného systému Galvanovny. Protože část rozvodů bude vedena venkovním prostředím, musí být rozvody naplněny nemrznoucí směsí, aby nedošlo k zamrznutí potrubí v době, kdy budou tavicí pece mimo provoz.

K provedení výpočtů byly využity teploty spalin, které byly naměřeny nad vsázkovým otvorem u pecí Sklenar 250/2 a kelímkové pece, při 100% výkonu obou pecí. Teplota spalin byla změřena ve výši cca 550°C. Pro využití odpadního tepla se předpokládá vybavit stávající ventilátor frekvenčním měničem pro řízení otáček ventilátoru (popř. instalovat ventilátor nový, v závislosti na skutečném technickém stavu ventilátoru), a tím řídit množství odsávaného vzduchu tak, aby byla před výměníkem, který bude umístěn ve společném VZT potrubí, zajištěna teplota cca 300°C. Celé zařízení je nutné vybavit systémem klapek a obtoků.

Dále byly pro výpočty využity stechiometrické výpočty spalování zemního plynu a ředicí poměry (pro ředění spalin vzduchem pro získání teploty spalin (směsi) před výměníkem ve výši 300°C) a informace o provozu tavicích pecí (tyto hodnoty byly získány z dříve zpracovaných podkladů). Dle informací jsou v provozu jedna až dvě pece a pece se vzájemně střídají (ve výpočtech bylo

uvažováno s provozem jedné tavicí pece Sklenar 250/2 a kelímkové pece). Provoz tavicích pecí trvá cca 10 hodin a to od půlnoci do desíti hodin dopoledne. Po dobu prvních pěti hodin tavení jsou hořáky nastaveny na 100 % svého jmenovitého výkonu a dalších pět hodin na 50 % jmenovitého výkonu. Množství získaného tepla bylo stanoveno na základě údajů uvedených výše a dále pak na základě průměrné spotřeby zemního plynu ve Slévárně. Tato hodnota byla korigovaná na počet pracovních dní a snížena o spotřebu plynu pro ostatní plynové spotřebiče ve Slévárně. Množství využitelného tepla pro přípravu horké vody pro Galvanovnu je uvedeno v následující tabulce.

Schéma napojení využití odpadního tepla na stávající systém v příloze 1 a 2.

	Využitelné odpadní teplo[GJ]		
	Výkon hořáků		Celkem
	100%	50%	
Leden	63,7	31,9	95,6
Únor	57,7	28,8	86,5
Březen	65,6	32,8	98,3
Duben	56,8	28,4	85,3
Květen	66,7	33,4	100,1
Červen	66,4	33,2	99,6
Červenec	57,3	28,6	85,9
Srpen	69,3	34,7	104
Září	66,1	33,1	99,2
Říjen	65,8	32,9	98,7
Listopad	64,6	32,3	96,9
Prosinec	55,6	27,8	83,4
Celkem	756,7	378,4	1 133,60

Tabulka 24 - 7.8. množství využitelného tepla z tavicích pecí [8]

Po využití odpadního tepla z tavicích pecí pro Galvanovnu je teoreticky možné další využití zbytkového odpadního tepla spalin ohřevem vody na nižší parametry např. tepelný spád topné vody 70/50 °C. Vzniká však problém s využitím této energie. Využití pouze pro přípravu teplé vody by nebylo příliš ekonomické z hlediska investičních nákladů na opatření.

7.3.2. Investiční a provozní náklady

V Následujících tabulkách jsou uvedeny investiční náklady na opatření a úspora provozních nákladů po realizaci.

Položka	Jednotka	Hodnota
Výměník spaliny / topná voda (vč. příslušenství)	tis.Kč	1 600
Nové rozvody topné vody vč. tep. izolace, příslušenství a montáže	tis.Kč	630
Frekvenční měnič vč. propojení a kabelů, MaR, pohony apod.	tis.Kč	220
Ostatní náklady (doprava, stavební úpravy, PD, glykol apod.)	tis.Kč	370
Investiční náklady	tis.Kč	2 820

Tabulka 25 - 7.9. investiční náklady na realizaci

Ukazatel	Jednotka	Hodnota
Úspora nákladů za nenakoupený ZP	tis.Kč	330,5
Úspora nákladů (provozní příjmy)	tis.Kč	330,5
Náklady na údržbu	tis.Kč	15
Pojištění zařízení	tis.Kč	4
Provozní náklady	tis.Kč	19
Celková úspora nákladů	tis.Kč	311,5

Tabulka 26 - 7.10. úspora provozních nákladů po realizaci

7.3.3. Potenciál úspor

Předpokladem pro ekonomické vyhodnocení je financování navrhovaného opatření z vlastních zdrojů bez nutnosti splácet úvěr a úroky z úvěru.

Ukazatel	Jednotka	Hodnota
Investiční náklady	tis.Kč	2 820
Provozní příjmy	tis.Kč/rok	330,5
Provozní náklady	tis.Kč/rok	19
Přínosy projektu celkem	tis.Kč/rok	311,5
Diskontní sazba	%	3,06
Čistá současná hodnota NPV	tis.Kč	1 722
Vnitřní výnosové procento IRR	%	9,38
Prostá doba návratnosti Ts	roky	9,7
Reálná doba návratnosti Tsd	roky	11,3
Doba životnosti TŽ	roky	20
CF - úspora na konci hodnoceného období	tis.Kč	3 202

Tabulka 27 - 7.11. ekonomické vyhodnocení opatření

7.3.4. Výhody a nevýhody využití odpadního tepla

Výhody opatření:

- Úspora nákladů na zemní plyn
- Využití odpadního tepla

Nevýhody opatření:

- Pro zlepšení ekonomiky provozu nutno využít teplo v Galvanovně pro technologické účely
- Zisk odpadního tepla a jeho množství je závislé na provozu tavicích pecí
- Před realizací tohoto opatření bude nutné provést dlouhodobější měření teploty spalin u tavicích pecí a přepočítat množství využitelného odpadního tepla z tavicích pecí na základě naměřených hodnot

7.4. Využití odpadního tepla kompresorů pro přípravu TV

7.4.1. Popis opatření

V tomto opatření je navrženo využití přebytečného odpadního tepla kompresorů pro přípravu teplé vody. Parametry kompresorů jsou uvedeny v tab.4.6.. V současné době je již odpadní teplo z kompresorů využíváno pro ohřev teplé vody v akumulacích nádrží. Jakmile je teplá voda ohřátá na požadovanou teplotu je v zimním období odpadní teplo využito pro vytápění haly Strojírny a haly Obrobny (teplovzdušné vytápění). Přebytečné teplo je v zimním a převážně v letním období vypouštěno do venkovního prostoru.

V opatření je počítáno s využitím akumulací nádrže, která je umístěna v hale Montáž. Objem akumulací nádoby je 4 m³. Předpokládá se přemístění akumulací nádoby do blízkosti strojovny kompresorů. Od přemístěné akumulací nádoby budou do stávajícího místa spotřeby vedeny nové cirkulační rozvody teplé vody. Cirkulace teplé vody bude zajištěna novými cirkulačními čerpadly (2ks, z toho jedno jako 100% záloha).

Vzhledem k tomu, že není měřena spotřeba teplé vody ani spotřeba tepla na její přípravu v akumulací nádrži, je odhadovaná denní spotřeba teplé vody asi 2 m³ / den . Odhadovaná úspora tepla, zemního plynu a nákladů na přípravu TV je uvedena v tab.7.12..

Ukazatel	Jednotka	Hodnota
Spotřeba TV	m ³ /den	2
Úspora tepla na přípravu TV (včetně ztrát při cirkulaci)	GJ/rok	144,2
Účinnost zdroje přípravy TV	%	88,2
Úspora energie v zemním plynu	GJ/rok	163,4
Cena zemního plynu	Kč/GJ	257,2
Úspora nákladů na ohřev TV	tis.Kč/rok	42

Tabulka 28 - 7.12. úspora nákladů na přípravu TV [8]

7.4.2. Investiční a provozní náklady

V Následujících tabulkách jsou uvedeny investiční náklady na opatření a úspora provozních nákladů po realizaci.

Položka	Jednotka	Hodnota
Nové cirkulační rozvody (včetně montáže)	tis.Kč	125
Cirkulační čerpadlo včetně příslušenství	tis.Kč	48
Ostatní propojovací materiál, doprava, stavební úpravy	tis.Kč	35
Investiční náklady celkem	tis.Kč	208

Tabulka 29 - 7.13. investiční náklady na realizaci

Ukazatel	Jednotka	Hodnota
Úspora nákladů za nenakoupený ZP	tis.Kč	42
Úspora nákladů (provozní příjmy)	tis.Kč	42
Náklady na údržbu	tis.Kč	2,5
Pojištění zařízení	tis.Kč	1
Provozní náklady	tis.Kč	3,5
Celková úspora nákladů	tis.Kč	38,5

Tabulka 30 - 7.14. úspora provozních nákladů po realizaci

7.4.3. Potenciál úspor

Ukazatel	Jednotka	Hodnota
Investiční náklady	tis.Kč	208
Provozní příjmy	tis.Kč/rok	42
Provozní náklady	tis.Kč/rok	3,5
Přínosy projektu celkem	tis.Kč/rok	169,5
Diskontní sazba	%	3,06
Čistá současná hodnota NPV	tis.Kč	361,6
Vnitřní výnosové procento IRR	%	22,4
Prostá doba návratnosti Ts	roky	5,4
Reálná doba návratnosti Tsd	roky	5,7
Doba životnosti TŽ	roky	20
CF - úspora na konci hodnoceného období	tis.Kč	615

Tabulka 31 - 7.15. ekonomické vyhodnocení opatření.

7.4.4. Výhody a nevýhody využití odpadního tepla kompresorů

Výhody opatření:

- Úspora nákladů na přípravu TV
- Využití odpadního tepla

Nevýhody opatření:

- Zisk odpadního tepla je závislý na provozu kompresorů

8. Ekonomické vyhodnocení opatření

Cílem ekonomické analýzy je zjistit vhodnost realizace jednotlivých opatření z ekonomického hlediska. Ekonomická analýza byla provedena na základě několika kritérií, z nichž nejdůležitější jsou čistá současná hodnota a vnitřní výnosové procento v podobě diskontovaného toku hotovosti za dobu životnosti opatření. Důležitým hodnotícím faktorem může být také finanční úspora na konci hodnotícího období.

8.1. Základní vstupní údaje

Při zpracování ekonomické analýzy jsou obvykle základními vstupními údaji na jedné straně příjmové položky a na druhé straně výdajové položky. Vstupní údaje pro ekonomickou analýzu se opírají o následující fakta:

- Výše provozních nákladů v jednotlivých opatřeních byla stanovena na základě znalosti stávajícího stavu a stávajících cenových hladin energií.
- Technologické celky v jednotlivých opatřeních byly převážně naceněny dle reálných cenových nabídek výrobců a prodejců zařízení.
- Stavební úpravy a dodatečné náklady na realizaci jednotlivých opatření byly stanoveny odhadem na základě zkušeností z již dříve provedených prací.
- Výše úspor byly stanoveny na základě provozu energetických zařízení.
- Jako základ pro výpočet úspor sloužil současný stav a příslušné provozní výdaje, tak jak je uvedeno v korigovaných energetických bilancích.

8.2. Základní kritéria při hodnocení projektů

Čistá současná hodnota (NPV)

Čistá současná hodnota je jedním ze základních a v praxi nejčastěji používaným kritériem při hodnocení investic. Obecně je založena na porovnání peněžních toků (příjmů a výdajů) generovaných projektem za celou dobu životnosti, které jsou diskontovány k okamžiku rozhodování. Poskytuje informaci o ziskovosti projektu v absolutním vyjádření, tedy v peněžních jednotkách. Projekt je ziskový tehdy, pokud je čistá současná hodnota kladná což nastává tehdy, pokud současná hodnota očekávaných příjmů z investice je vyšší než současná hodnota výdajů spojených s danou investicí.

Matematicky lze toto kritérium vyjádřit následujícím vztahem:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+R)^t} - INV_0 \quad [8] \quad (8.1.)$$

kde CF je peněžní tok z investice v roce t , R je diskontní sazba, která byla po konzultaci zvolena na 3,06% (zde minimální požadovaný výnos z investice určený modelem CAPM) a INV jsou investiční náklady.

Předností tohoto kritéria je zejména fakt, že bere v úvahu všechny peněžní toky za celou dobu životnosti investice (na rozdíl od kritéria doby návratnosti). Taktéž jej lze aplikovat v situacích, kdy opatření není spojeno s žádnými počátečními investičními náklady.

Vnitřní výnosové procento (IRR)

Vnitřní výnosové procento je takové procento, při němž se současná hodnota peněžních příjmů z investice rovná kapitálovým výdajům. Toto procento pak vyjadřuje průměrný výnos z investice za celou dobu jejího trvání. Investice se považuje za ziskovou tehdy, jestliže vnitřní výnosové procento je vyšší než je minimální požadovaná výnosnost investice (určená např. výše popsaným modelem CAPM), tedy musí platit, že:

$$IRR \geq R \quad [8] \quad (8.2.)$$

Z toho lze toto kritérium popsat takto:

$$\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} = INV_0 \quad [8] \quad (8.3.)$$

kde IRR je hledané vnitřní výnosové procento. Výhody tohoto kritéria jsou shodné jako u kritéria čisté současné hodnoty, a proto by měly být při rozhodování považovány za stěžejní a nejdůležitější.

Prostá doba návratnosti (DN)

Prostá návratnost investic je pomocným kritériem při hodnocení ekonomické efektivnosti investice. Vyjadřuje počet let, za které očekávané příjmy z investice pokryjí počáteční investiční výdaje. Přitom rozhodujícím kritériem je, aby doba návratnosti byla kratší než je očekávaná doba životnosti investice. Nevýhodou tohoto kritéria je skutečnost, že nezohledňuje skutečnou časovou hodnotu peněz (ocenění toků hotovosti prostřednictvím diskontní míry, pracuje s nominálními peněžními toky) a také fakt, že nezohledňuje peněžní toky po době návratnosti. Proto je její vypovídací schopnost omezená a slouží jen jako orientační kritérium.

Pro vyjádření DN proto použijeme vzorec:

$$DN = \frac{INV_0}{\sum_{t=1}^N CF_t} \quad [8] \quad (8.4.)$$

kde DN je doba návratnosti, INV jsou počáteční investiční náklady a CF jsou peněžní toky v jednotlivých letech životnosti.

Diskontovaná doba návratnosti

Jedná se o modifikaci kritéria prosté doby návratnosti. Rozdíl spočívá v tom, že se zde nepracuje s nominálními peněžními toky, ale diskontovanými. Rozhodující kritérium je definováno stejným způsobem.

Toto kritérium lze vyjádřit následovně:

$$DN = \frac{INV_0}{\sum_{t=1}^N \frac{CF_t}{(1+R)^t}} \quad [8] \quad (8.5.)$$

8.3. Celkové ekonomické vyhodnocení opatření

		Decentralizace areálu	Instalace kotle	Využití tepla	Teplo z kompresorů
Ukazatel	Jednotka	Hodnota	Hodnota	Hodnota	Hodnota
Investiční náklady	tis.Kč	17 420	4 155	2 820	208
Provozní příjmy	tis.Kč/rok	1 827,80	767,9	330,5	42
Provozní náklady	tis.Kč/rok	67,8	5	19	3,5
Přínosy projektu celkem	tis.Kč/rok	1 760	762,9	311,5	169,5
Diskontní sazba	%	3,06	3,06	3,06	3,06
Čistá současná hodnota NPV	tis.Kč	8 243	7 033	1 722	361,6
Vnitřní výnosové procento IRR	%	8,06	19,17	9,38	19,73
Prostá doba návratnosti Ts	roky	10,6	6	9,7	5,4
Reálná doba návratnosti Tsd	roky	12,5	6,5	11,3	5,7
Doba životnosti TŽ	roky	20	20	20	20
CF - úspora na konci hodnoceného období	tis.Kč	16 607	10 658	3 202	615

Tabulka 32 - 8.1. ekonomické vyhodnocení všech opatření.

9. Závěr

Cílem této práce bylo optimalizovat výrobu a spotřebu tepelné energie v areálu výrobního závodu a navrhnout úsporné opatření tak, aby bylo vyrobené teplo maximálně využito v provozu.

Na základě obdržených materiálů jsem stanovil energetickou bilanci současného stavu a ztráty venkovních páteřních rozvodů.

Podle energetické bilance jsem po konzultaci vybral doporučená opatření, které měly nejvyšší potenciál úspor tepelné energie. Jedná se především o decentralizovanou výrobu tepelné energie, instalaci nového horkovodního kotle, využití nízkopotenciálního tepla z kompresorů a využití odpadního tepla ve slévárně. Tyto varianty byly popsány, na základě konzultací byly stanoveny předběžné investiční náklady a dále pak byl stanoven potenciál úspor při výrobě tepelné energie a úspora provozních nákladů po realizaci opatření. Na závěr jsem udělal celkové ekonomické vyhodnocení všech opatření (financování projektu probíhá pouze z vlastních zdrojů investora, projekt nebude zatížen úvěry), na základě kterého je možné se rozhodnout o výhodnosti vložených prostředků z pohledu investora.

10. Literatura

- [1] *Využití odpadního tepla.* Dostupné na:
<http://www.pwr.cz/prumysl/vyuziti-odpadniho-tepla/>
- [2] *Doc.Ing.Ladislav Kysela,Csc :* Využití druhotných zdrojů energie,
Katedra energetiky Fakulty strojní VŠB – TU Ostrava
leden 2004 a leden 2007.
- [3] *hašení suchého koku.* Dostupné na:
<http://www.fmfi.vsb.cz/export/sites/fmfi/cs/studium-a-vyuka/studijni-opory/635-Machackova-Druhotne-energeticke-zdroje.pdf>
- [4] *Schéma tunelové pece.* Dostupné na:
<http://www.jovbak.cz/produkty/detail/3/>
- [5] *Výměníky tepla.* Dostupné na:
<http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125yatm/prednasky/125yatm-06.pdf>
- [6] *Centralizovaná výroba tepla.* Dostupné na:
<http://panelovedomy.ekowatt.cz/tepla-voda/41-centralni-systemy-pripravy-a-dodavky-teple-vody>
- [7] *Popis SCZT.* Dostupné na:
https://www.powerwiki.cz/attach/Vyroba/Popis_systemu_CZT.pdf
- [8] *Úspory energií ve výrobních provozech společnosti Slováké strojírný - závod MEP Postřelmov*
- [9] *Výpočet tepelné ztráty potrubí.* Dostupný na:
<http://vytapieni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/44-tepelna-ztrata-potrubu-s-izolaci-kruhoveho-prurezu>

11. Rejstřík tabulek

Tabulka 1 - 2.1. orientační bilance technologického procesu koksovny [2].....	12
Tabulka 2 - 4.1. technické údaje kotlů v kotelně HV1 [8].....	27
Tabulka 3 - 4.3. technické údaje kotlů v kotelně HV2 [8].....	28
Tabulka 4 - 4.6. parametry kompresorů [8]	31
Tabulka 5 - 5.1. nákup zemního plynu [8].....	34
Tabulka 6 - 5.2. celková spotřeba, náklady, jednotkové náklady. 1 MWh = 3,24 GJ [8]	34
Tabulka 7 - 5.3. teplo vyrobené v kotelnách [8].....	35
Tabulka 8 - 5.4. spotřebovaná EE [8].....	35
Tabulka 9 - 5.5. soupis energetických vstupů za poslední rok [8].....	36
Tabulka 10 - 6.1. specifikace rozvodů z kotelny HV1 [8].....	39
Tabulka 11 - 6.2. specifikace rozvodů z kotelny HV2 [8].....	39
Tabulka 12 - 6.3. tepelné ztráty horké vody z HV1 (přívod)	40
Tabulka 13 - 6.4. tepelné ztráty horké vody do HV1 (vrat)	40
Tabulka 14 - 6.5. tepelné ztráty teplé vody z HV2 (přívod)	40
Tabulka 15 - 6.6. tepelné ztráty teplé vody do HV2 (vrat)	40
Tabulka 16 - 7.1. tepelné ztráty objektů [8]	42
Tabulka 17 - 7.2. investiční náklady na realizaci.....	43
Tabulka 18 - 7.2. úspora provozních nákladů po realizaci	43
Tabulka 19 - 7.3. ekonomické vyhodnocení opatření.....	43
Tabulka 20 - 7.4. srovnání výroby tepla ve stávajícím a novém kotli [8]	45
Tabulka 21 - 7.5. investiční náklady na realizaci.....	46
Tabulka 22 - 7.6. úspora provozních nákladů po realizaci	46
Tabulka 23 - 7.7. ekonomické vyhodnocení opatření.....	46
Tabulka 24 - 7.8. množství využitelného tepla z tavících pecí [8].....	48
Tabulka 25 - 7.9. investiční náklady na realizaci.....	49
Tabulka 26 - 7.10. úspora provozních nákladů po realizaci	49
Tabulka 27 - 7.11. ekonomické vyhodnocení opatření.....	49
Tabulka 28 - 7.12. úspora nákladů na přípravu TV [8].....	50
Tabulka 29 - 7.13. investiční náklady na realizaci.....	51
Tabulka 30 - 7.14. úspora provozních nákladů po realizaci	51
Tabulka 31 - 7.15. ekonomické vyhodnocení opatření.....	51
Tabulka 32 - 8.1. ekonomické vyhodnocení všech opatření.	54

12. Rejstřík obrázků

Obrázek 1 - 2.2. schéma suchého hašení koksu [3]	13
Obrázek 2 - 2.3. tunelová pec [4]	14
Obrázek 3 - 2.4. bilance tepla v rekuperátoru [2]	17
Obrázek 4 - 2.5. sálavý rekuperátor []	19
Obrázek 5 - 2.5. regenerátor s pevnými komorami [5]	20
Obrázek 6 - 2.6. otočný regenerátor [5]	21
Obrázek 7 - 2.7. a) sou proud, b) protiproud, c) křížový proud, d) šikmý proud, e- g) kombinované proudění [5]	23
Obrázek 8 - 4.2. kotelná HV1	28
Obrázek 9 - 4.4. kotelná HV2	29
Obrázek 10 - 4.5. schéma zdrojové části tepelné energie [8]	30
Obrázek 11 - 4.7. tavící plynová pec Sklenář	32
Obrázek 12 - 4.8. kelímková tavící pec	32
Obrázek 13 - 4.9. galvanovna	33
Obrázek 14 - 6.1. oddělovací výměník (propojení kotlen HV1 a HV2)	37
Obrázek 15 - 6.1. páteřní rozvody	38